

GUÍAS

Guía de  
Energía Solar  
Térmica de  
Concentración  
para Procesos  
Industriales.

034

[www.idae.es](http://www.idae.es)



PROTERMO  
SOLAR

#### AUTOR

Esta guía ha sido redactada por Protermosolar (PTMS) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), con el propósito de promocionar la utilización de la Energía Solar Térmica de Concentración en el ámbito de los procesos industriales.

#### REVISIÓN TÉCNICA

Departamento Solar y Autoconsumo de IDAE  
Comité Técnico de Protermosolar

Esta guía no habría sido posible sin la colaboración de las empresas que han facilitado información y puesto su experiencia a disposición de esta publicación para la elaboración de los ejemplos y caso de éxito que se incluyen.

La elaboración de este documento ha sido promovida por el IDAE. Aunque IDAE ha supervisado la realización de los trabajos y ha aportado sus conocimientos y experiencia para su elaboración, el contenido de la misma no representa necesariamente la opinión del IDAE sobre los temas que en ella se tratan

Informes Técnicos IDAE: Guía de Energía Solar Térmica de Concentración para Procesos Industriales

Edita: IDAE  
Elaboración y Coordinación: IDAE, Protermosolar  
Diseño: IDAE  
Maquetación: IDAE  
Autoedición e impresión: IDAE  
NIPO: 629-25-001-3  
Madrid, marzo de 2025

Cualquier reproducción, parcial o total, de la presente publicación, debe contar con la aprobación por escrito del IDAE

# ÍNDICE

<b>1. Resumen ejecutivo .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Análisis tecnológico .....</b>	<b>15</b>
2.1. Tecnología solar térmica de concentración .....	15
2.2. Indicadores clave de la tecnología solar térmica de concentración .....	17
2.3. Criterios para el cálculo de la producción y dimensionado de la instalación solar .....	18
2.4. Almacenamiento térmico .....	18
2.5. Posibilidades de hibridación con otras tecnologías renovables .....	19
2.6. Operación y Mantenimiento de Instalaciones.....	20
2.7. Base de datos de proveedores de tecnología en España .....	20
<b>3. Integración de la energía solar térmica de concentración en la industria.....</b>	<b>23</b>
3.1. Procesos térmicos en la industria.....	23
3.1.1. Preparación de alimentos .....	24
3.1.2. Ebullición.....	25
3.1.3. Esterilización .....	25
3.1.4. Síntesis química.....	25
3.1.5. Secado .....	26
3.1.6. Procesos plásticos .....	26
3.1.7. Refrigeración y Calefacción .....	27
3.1.8. Desgasificación.....	27
3.1.9. Refino .....	28
3.2. Diseño de las instalaciones solares térmicas de concentración para industrias .....	28
3.2.1. Aspectos generales .....	28
3.2.2. Modalidades de integración con el proceso industrial .....	30
3.3. Sectores de mayor potencial .....	37
3.3.1. Sector Papelero.....	37
3.3.2. Sector Alimentación y Bebidas.....	38
3.3.3. Sector textil .....	39
3.3.4. Sector agricultura y ganadería .....	39
3.3.5. Sector de lavandería industrial .....	40
3.3.6. Sector Minero .....	41
3.3.7. Sector del tratamiento de aguas residuales.....	42

3.3.8.	Sector químico .....	42
<b>4.</b>	<b>Consumo de energía térmica y potencial solar de concentración .....</b>	<b>45</b>
4.1.	Análisis de la demanda de energía térmica .....	45
4.1.1.	Contexto Internacional .....	45
4.1.2.	Contexto europeo y nacional .....	46
4.1.3.	Herramienta para la evaluación de la demanda térmica .....	47
4.2.	Potencial de la tecnología solar de concentración .....	48
<b>5.</b>	<b>Análisis del estado actual de la tecnología .....</b>	<b>53</b>
5.1.	Proyectos e instalaciones existentes .....	53
5.1.1.	Contexto internacional .....	53
5.1.2.	Contexto nacional .....	55
5.1.3.	Redes de calor .....	56
5.2.	Desarrollo tecnológico .....	58
5.3.	Impacto del sector en el marco estratégico actual .....	59
5.3.1.	Contexto europeo .....	59
5.3.2.	Contexto nacional .....	61
5.4.	Programas de ayudas .....	63
5.4.1.	Programa LIFE .....	64
5.4.2.	Programación del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER 2021-2027) .....	64
5.4.3.	El Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR) .....	65
5.4.4.	Sistema de Certificados de Ahorro Energético (CAE) .....	66
5.5.	Modelos actuales de financiación .....	67
5.6.	Certificaciones y normativa existente .....	69
5.6.1.	Ensayos para captadores solares .....	70
5.6.2.	Ensayos para componentes del campo solar .....	71
5.6.3.	Ensayos para el campo solar y almacenamiento .....	73
5.6.4.	Normativa de diseño .....	74
<b>6.</b>	<b>Identificación de barreras .....</b>	<b>79</b>
6.1.	Barreras de mercado .....	79
6.1.1.	Costes de oportunidad .....	79
6.1.2.	Escasez de oferta en el mercado .....	79
6.1.3.	Costes iniciales .....	80
6.1.4.	Costes operativos .....	80
6.2.	Barreras tecnológicas .....	80
6.2.1.	Desconocimiento de las posibilidades de la energía solar de concentración .....	80

6.2.2.	Necesidad de sistemas auxiliares de respaldo.....	81
6.2.3.	Discontinuidades de los procesos de producción o en las demandas de calefacción y refrigeración.....	81
6.2.4.	Condiciones del entorno.....	81
<b>7.</b>	<b>Propuestas de desarrollo .....</b>	<b>83</b>
7.1.	Medidas inmediatas (2025).....	83
7.2.	Propuestas a medio plazo (2030).....	84
7.3.	Soluciones de futuro (2050).....	85
<b>8.</b>	<b>Casos de estudio y ejemplos de instalaciones .....</b>	<b>89</b>
8.1.	Índice de Fichas.....	89
8.1.1.	Planta de energía solar térmica de concentración de la fábrica de Heineken - Sevilla .....	90
8.1.2.	Estudio de viabilidad de energía solar térmica de concentración Papelera .....	92
8.1.3.	Planta de energía solar térmica de concentración Fábrica de Colgate-Palmolive.....	94
8.1.4.	Planta de energía solar térmica de concentración en Moralejo Selección .....	96
8.1.5.	Planta de energía solar térmica de concentración para Natural Cork.....	98
8.1.6.	Demostrador de energía solar térmica de concentración para HERMA - UNEX.....	100
8.1.7.	Energía solar térmica de concentración de la fábrica de Heineken - Valencia .....	102
8.1.8.	Planta de energía solar térmica de concentración para fabrica Alimentaria.....	104
8.1.9.	Estudio de planta solar térmica de concentración para producción de pienso.....	106
8.1.10.	Estudio Descarbonización en la producción de mezcla bituminosa caliente (Arena).....	108
8.1.11.	Descarbonización en la producción de mezcla bituminosa caliente (Aire).....	110
8.1.12.	Descarbonización en la producción de mezcla bituminosa caliente (Aceite) .....	112
8.1.13.	Estudio de viabilidad de reciclado de viruta de la industria relojera .....	114
8.1.14.	Energía solar térmica de concentración para instalación de adhesivos .....	116
8.1.15.	Energía solar térmica de concentración para instalación de Betún Asphaltico .....	118
8.1.16.	Energía solar térmica de concentración para tratamientos de aceites .....	120
8.1.17.	Planta de energía solar térmica de concentración de la fábrica de Givaudan.....	122
<b>9.</b>	<b>Herramienta de simulación .....</b>	<b>125</b>
9.1.	Descripción de la herramienta de cálculo .....	125
9.2.	Consideraciones y Limitaciones.....	126
<b>10.</b>	<b>Memoria Técnica .....</b>	<b>129</b>
10.1.	Definiciones y terminología .....	129
10.2.	Tecnología solar térmica de concentración.....	132
10.2.1.	Aspectos generales .....	132
10.2.2.	Concentración y conversión térmica de la radiación solar .....	135

10.2.3.	Captadores cilindroparabólicos .....	136
10.2.4.	Concentradores lineales Fresnel .....	146
10.2.5.	Receptor central.....	152
10.2.6.	Disco parabólico.....	155
10.3.	Indicadores clave de la tecnología solar térmica de concentración .....	159
10.3.1.	Superficie disponible.....	159
10.3.2.	Temperatura del proceso.....	159
10.3.3.	Demanda de calor del proceso industrial .....	160
10.3.4.	Capacidad de Almacenamiento .....	160
10.4.	Criterios para el cálculo de la producción y dimensionado de la instalación solar .....	160
10.4.1.	Criterios generales para el dimensionado de campos solares.....	160
10.4.2.	Criterios para el dimensionado de campos solares con captadores cilindroparabólicos ....	166
10.5.	Almacenamiento térmico .....	170
10.5.1.	Clasificación de sistemas de almacenamiento térmico .....	172
10.5.2.	Clasificación del almacenamiento térmico en función del concepto .....	173
10.6.	Posibilidades de hibridación con otras tecnologías renovables .....	178
10.7.	Operación y Mantenimiento de Instalaciones.....	181
10.7.1.	Organización de la operación y mantenimiento de la planta .....	181
10.7.2.	Sistema de control .....	182
10.7.3.	Operaciones .....	183
10.7.4.	Mantenimiento .....	186
10.8.	Base de datos de proveedores de tecnología en España .....	189
10.8.1.	Proveedores de sistemas de captadores .....	189
10.8.2.	Proveedores de sistemas de almacenamiento .....	193
10.8.3.	Centros I+D .....	194
<b>11.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>197</b>





# 1. Resumen ejecutivo

La energía solar térmica de concentración (CSP) destaca como una tecnología clave en el contexto de descarbonización de usos energéticos y despliegue de energías renovables, especialmente en el ámbito industrial. Al concentrar la radiación solar mediante diferentes tipos de captadores, como los cilindroparábolicos, los concentradores lineales Fresnel, los receptores centrales y los discos parabólicos, convierte la energía solar en calor de media y alta temperatura, adecuado para diversas aplicaciones. Esta capacidad no solo satisface la demanda de procesos térmicos exigentes, sino que también permite almacenar el calor generado para su uso en momentos sin radiación solar directa, proporcionando estabilidad en el suministro energético.

La presente guía tiene como objetivo proporcionar información detallada y relevante sobre la tecnología de energía solar térmica de concentración, especialmente dirigida a los usuarios del sector industrial que buscan alternativas sostenibles y eficientes para sus procesos de alto consumo térmico a media y altas temperaturas. Además, se ofrecen datos clave sobre las capacidades y beneficios de esta tecnología, con el fin de facilitar su comprensión y viabilidad en diferentes entornos industriales. A modo de ejemplo, el apartado 8 incluye 15 fichas con casos de éxito reales en diferentes sectores de la industria.

Complementariamente, dentro de los anexos técnicos, se ha incluido una memoria técnica que aborda aspectos más específicos y de detalle, orientada a empresas y profesionales especializados en el diseño y operación de instalaciones energéticas. Este apartado técnico busca ofrecer una visión completa y unificada, permitiendo que los expertos tengan acceso a la información detallada necesaria para implementar y optimizar soluciones basadas en CSP. De este modo, tanto los responsables de la toma de decisiones como los técnicos especializados podrán contar con los recursos adecuados para evaluar la viabilidad y eficiencia de la energía solar térmica de concentración en sus respectivos campos.

### Principales objetivos de la guía:



Proporcionar una **visión completa de la tecnología de CSP** y su relevancia dentro del sector de energías renovables.



Evaluar las **capacidades y beneficios de la CSP para aplicaciones industriales de alto consumo térmico**.



Explicar el **valor del almacenamiento térmico** para garantizar un suministro energético estable y continuo.



**Analizar el potencial de la CSP para procesos industriales** que requieren temperaturas elevadas, destacando su contribución a la descarbonización



Explorar la **viabilidad de integrar la CSP en diferentes industrias**, considerando su eficiencia operativa y rentabilidad



Examinar los **desafíos técnicos, regulatorios y económicos que enfrenta esta tecnología**, así como las oportunidades para su desarrollo y optimización.



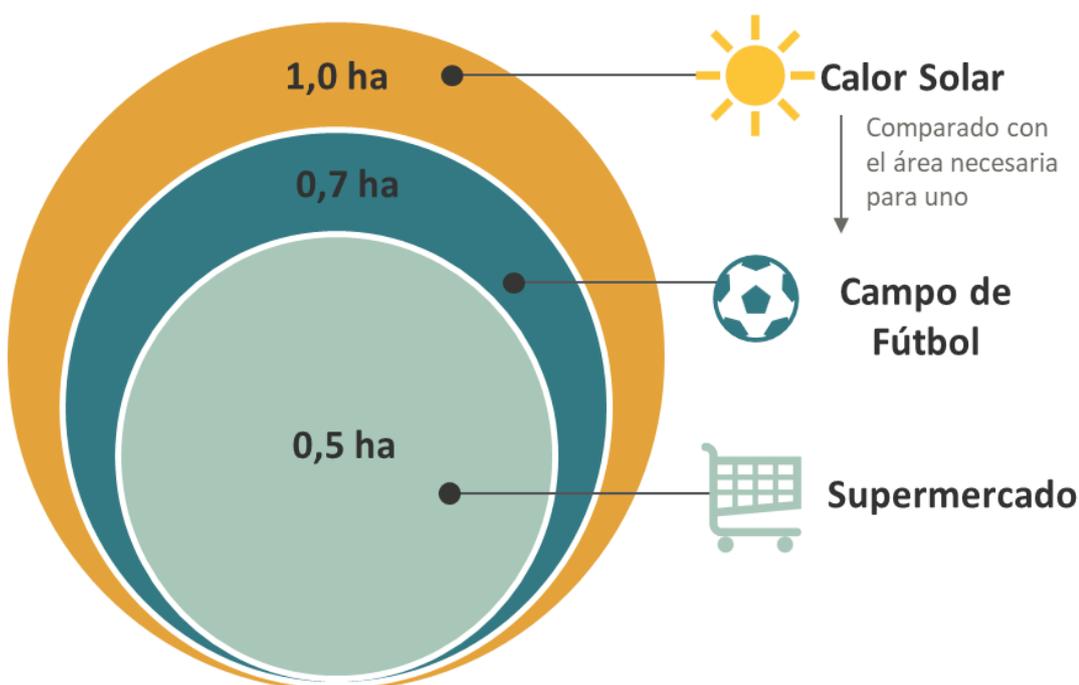
Presentar **casos de estudio de empresas industriales que ya utilizan CSP**, destacando los beneficios logrados en términos de reducción de costos y emisiones.



Este guía surge como una respuesta a la **creciente necesidad de soluciones energéticas sostenibles y eficientes en sectores industriales que requieren altos niveles de temperatura en sus procesos, y cuya descarbonización a partir de otras tecnologías puede presentar más obstáculos a nivel técnico**. En este sentido, a medida que la necesidad de reducir la dependencia de energías no renovables se intensifica, industrias como la química, la industria manufacturera o la alimentaria buscan alternativas que no solo minimicen costes, sino que también contribuyan eficazmente al proceso de descarbonización de la economía.

La CSP se presenta como una fuente de energía renovable y segura, con capacidades de almacenamiento que garantizan una operación continua y eficiente, proporcionando así una solución integral para los desafíos actuales del sector. **De esta forma, esta tecnología puede contribuir a la descarbonización de procesos industriales sin comprometer la productividad ni la competitividad.** A pesar de su potencial, la energía solar térmica de concentración aún es poco conocida en comparación con otras tecnologías renovables. La demanda de energía térmica de alta temperatura proviene, fundamentalmente, de diversas necesidades industriales.

**Según la Agencia Internacional de la Energía (AIE), el calor representa casi la mitad del consumo global de energía final,** y entre 2017 y 2022, este consumo ha aumentado un 6% anualmente. **Sin embargo, las fuentes renovables, excluyendo la biomasa tradicional, solo han cubierto la mitad de este incremento, alcanzando una participación del 13% en 2022.** A pesar del crecimiento en el consumo de calor renovable, este seguirá dependiendo en gran medida de combustibles fósiles, lo que dificulta los esfuerzos para enfrentar el cambio climático. En este contexto, la energía solar térmica de concentración se presenta como una opción valiosa para satisfacer la demanda de calor, optimizando la sostenibilidad y eficiencia energética en un sector que representa el 74% del consumo energético industrial, donde el 70% de este consumo se destina a calor de alta y media temperatura.



Adicionalmente a su aplicación industrial, la CSP puede ser fundamental en otros contextos, como el fomento de las comunidades energéticas, debido a que pueden proporcionar una solución para sistemas de calefacción urbana, como el Solar District Heating (SDH). Estos sistemas emplean campos de captadores solares de tamaño compacto, lo que les permite abastecer a múltiples usuarios, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles. En Europa, donde se concentra el 80% de las redes de calefacción urbana solar, se han demostrado sus beneficios económicos y ambientales. **Ejemplos destacados de redes de calor industriales, como las implementadas en Dinamarca y Suecia, muestran el impacto positivo de esta tecnología.** En España, la integración de redes de calor industriales representa una oportunidad significativa para impulsar la sostenibilidad energética.



La energía solar térmica de concentración destaca por su uso eficiente del terreno, convirtiéndose en una opción atractiva frente a otras tecnologías.

Este uso más eficiente del espacio convierte a la CSP en una alternativa ideal para proyectos en los que la superficie es un factor limitante, facilitando su integración en entornos industriales y permitiendo una gestión más racional de los recursos.

El sector industrial ofrece un terreno favorable para la implementación de soluciones innovadoras como la energía solar térmica de concentración. **Empresas líderes en diversos campos industriales que ya han integrado esta tecnología demuestran cómo su adopción puede generar beneficios significativos, incluyendo la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y el ahorro en costes operativos.**

La CSP puede integrarse en procesos como el secado, pasteurización y esterilización en la industria alimentaria; la síntesis química de fertilizantes y plásticos; el moldeo de polímeros; el refinado metalúrgico; y la generación de energía térmica para refrigeración, calefacción y refrigeración solar en sectores como el hotelero y farmacéutico. Su adopción impulsa la sostenibilidad y mejora la competitividad industrial.

Estos casos de éxito no solo han mejorado la competitividad de las industrias al reducirse sus gastos energéticos, sino que también las han establecido como referentes de sostenibilidad en sus respectivos campos. Existen otros ejemplos que subrayan el potencial transformador de esta tecnología en diversas industrias.

Finalmente, esta guía proporciona un marco de referencia integral para la toma de decisiones en el ámbito industrial y energético. Al ofrecer un análisis detallado de las capacidades, beneficios y desafíos de la CSP, se busca que tanto las industrias como el personal experto especializado cuenten con una referencia que facilite la implementación de la energía solar térmica de concentración.

La energía solar térmica de concentración se posiciona como una solución estratégica para avanzar hacia un modelo energético descarbonizado en el ámbito industrial, capaz al mismo tiempo de reducir los costes operativos.

La incorporación de la CSP en procesos industriales y redes de calor no solo puede contribuir significativamente a la reducción de emisiones, sino que también puede fomentar la competitividad del sector, posicionando a España a la vanguardia de la transición hacia un futuro energético más limpio y resiliente.





## 2. Análisis tecnológico

### 2.1. Tecnología solar térmica de concentración

La tecnología solar térmica de concentración utiliza la radiación solar para calentar un fluido que luego se emplea en procesos industriales. Esta tecnología ya ha sido aplicada en diversos sectores industriales y es comúnmente conocida como “Solar heat for industrial processes” (SHIP).

La utilización de la tecnología solar térmica de concentración reduce la dependencia de combustibles fósiles y las emisiones de carbono, con una eficiencia térmica que alcanza valores de entre el 55% y el 70%. Es una solución clave para incorporar energías renovables y favorecer la descarbonización en sectores industriales que actualmente dependen en gran medida de fuentes fósiles para procesos térmicos, como la producción de vapor, agua caliente y secado. Adicionalmente, la energía solar térmica de concentración presenta ventajas, lo que la puede convertir en una opción más eficiente para un buen número de aplicaciones industriales.

Los sistemas SHIP combinan típicamente captadores solares, almacenamiento térmico y sistemas de distribución de calor, lo que permite disponer de un aporte continuo de energía térmica, incluso en ausencia de radiación solar directa. Esto resulta especialmente relevante en industrias que operan de manera continua, ya que el almacenamiento térmico permite ajustar el suministro de calor a la demanda del proceso. Complementariamente, los sistemas SHIP tienen un alto potencial para la descarbonización de la industria, ya que pueden cubrir necesidades de calor en procesos industriales con rangos de media y alta temperatura (llegando incluso a superar los 1000 °C), contribuyendo a la descarbonización en sectores actualmente intensivos en el consumo de energía fósil.

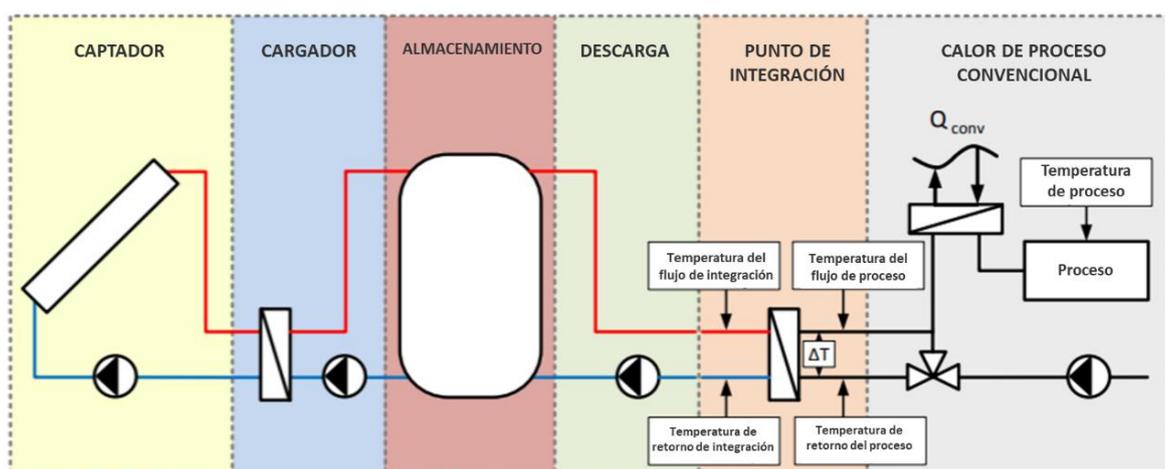


Figura 1. Esquema general de los procesos en un sistema de calor solar industrial (IEA SCH Task 49).

La tecnología solar térmica de concentración aplicada en procesos industriales es una **solución tecnológicamente probada y avanzada** que permite obtener calor a partir de energía solar de concentración. El calor puede obtenerse en forma de agua caliente o vapor, en función de las necesidades y demandas térmicas de los procesos industriales. La capacidad de esta tecnología para reemplazar fuentes de energía basadas en combustibles fósiles la posiciona como una opción estratégica para descarbonizar sectores intensivos en la demanda de calor. Este campo tecnológico representa un segmento de mercado con un alto potencial y un notable crecimiento en los últimos años.

La tecnología solar térmica de concentración para la generación de calor industrial puede emplear diversos tipos de captadores solares para concentrar la radiación solar y producir calor a altas temperaturas. Entre los captadores más comunes se destacan:

- **Los captadores cilindroparábolicos (CCP)** representan una de las tecnologías más utilizadas en la industria para la generación de calor. Estos captadores están diseñados para transformar la radiación solar directa en energía térmica, alcanzando temperaturas de hasta 400°C con una eficiencia global que varía entre el 60% y el 70%. Su estructura consta de un espejo cilindroparábólico que refleja la radiación solar hacia un tubo absorbedor situado en la línea focal de la parábola.
- **Los concentradores lineales Fresnel** presentan un diseño económico y compacto y utilizan superficies reflectoras de baja curvatura para concentrar la radiación solar en un tubo receptor. A diferencia de los CCP, los sistemas Fresnel poseen una menor eficiencia óptica, pero ofrecen ventajas significativas en términos de costes y facilidad de mantenimiento. Su diseño permite una disposición más compacta de los espejos, lo que reduce los costes estructurales y facilita el acceso para mantenimiento. Aunque la eficiencia óptica de los concentradores Fresnel es algo inferior a la de los CCP, estos sistemas pueden calentar fluidos a temperaturas de hasta 250°C con un coste operativo más bajo, lo que los hace adecuados para aplicaciones en sectores industriales donde el espacio y el presupuesto son limitados.
- **Receptores centrales y discos parabólicos**, aunque actualmente se utilizan en menor medida que los captadores cilindroparábolicos y los concentradores lineales Fresnel, los receptores centrales y los discos parabólicos son opciones con un potencial significativo para determinadas aplicaciones industriales. Estos sistemas se distinguen por su capacidad para concentrar la radiación solar en un punto focal, generando calor a temperaturas elevadas. Su menor adopción en comparación con otras tecnologías se debe a factores como coste y complejidad.

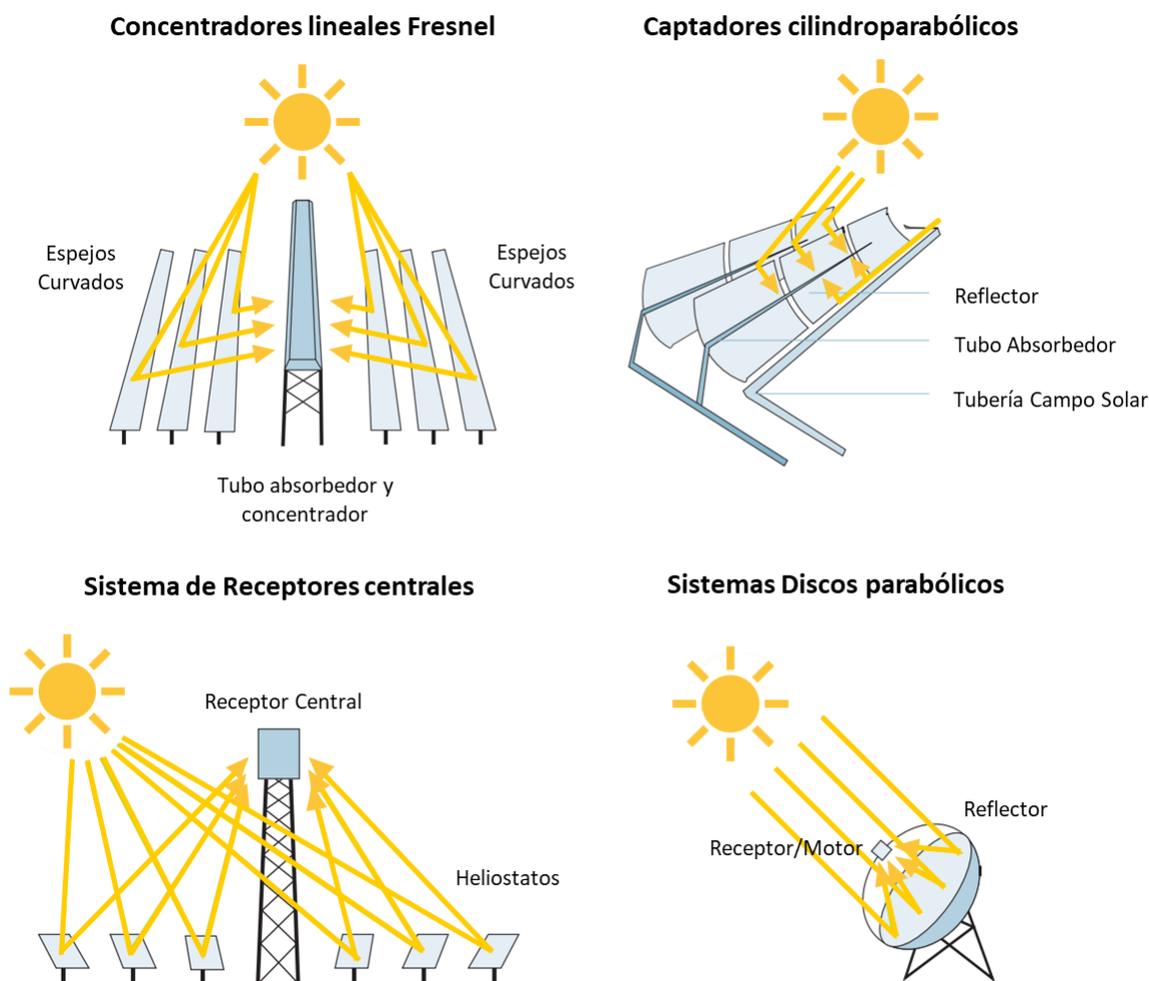


Figura 2. Tipos de captadores solares.

## 2.2. Indicadores clave de la tecnología solar térmica de concentración

Para la evaluación de la potencial aplicación de la tecnología solar térmica de concentración en una determinada industria es necesario considerar una serie de indicadores clave que afectan a la eficiencia y rentabilidad de los proyectos. Es necesario atender estos indicadores para evaluar opciones que permitan optimizar el sistema y ajustarlo a las necesidades industriales específicas. A continuación, se detallan los principales factores a considerar:

- La **superficie disponible** determina el espacio requerido para la instalación y afecta directamente la capacidad de generación de energía. La superficie puede suponer un factor limitante en la adecuación de los proyectos a los requisitos específicos de la industria, como la producción de vapor o la calefacción.
- La **temperatura del proceso industrial** determina las necesidades de temperatura para los procesos industriales e influye en la selección del tipo de captador solar y el diseño del sistema.
- La **demanda de calor del proceso industrial** define las necesidades precisas del sistema en términos de capacidad y rendimiento, asegurando que el sistema pueda satisfacer las demandas térmicas específicas de la industria.

- La **capacidad de almacenamiento térmico** resulta esencial para garantizar un suministro ininterrumpido de energía térmica, lo cual es especialmente importante en aquellos proyectos en los que se precisa de un aporte continuado de calor. El almacenamiento permite la acumulación de calor durante períodos de alta irradiación y facilita su liberación cuando es necesario (horas en las que no existe radiación solar), permitiendo así la continuidad del suministro térmico.

### 2.3. Criterios para el cálculo de la producción y dimensionado de la instalación solar

El diseño y dimensionado de una instalación solar térmica de concentración exige un análisis previo y una planificación exhaustiva y detallada. A continuación, se presentan los principales aspectos a tener en cuenta:

- **Temperatura de diseño:** Es necesario considerar un margen del 5% al 10% sobre la temperatura máxima de operación para asegurar que el sistema pueda manejar variaciones.
- **Presión de diseño:** Este valor se determina a partir de la temperatura de diseño y la presión de saturación, añadiendo un margen del 10% para pérdidas de carga.
- **Pérdida de carga:** Este factor depende del caudal y del diámetro de la tubería, por lo que es fundamental una selección adecuada para reducir las pérdidas y maximizar la eficiencia del sistema.
- **Aislamiento:** El aislamiento debe permitir minimizar las pérdidas térmicas y que el sistema soporte altas temperaturas. Entre los materiales más comunes para estos propósitos se encuentran la fibra de vidrio y la lana de roca.
- **Dilatación térmica:** Las tuberías se expanden y contraen con la temperatura, por lo que es necesario utilizar compensadores o liras para gestionar estos cambios.
- **Bombas:** Las bombas se seleccionan basándose en el rendimiento del sistema, siendo preciso ajustar el caudal con sistemas electrónicos o hidráulicos.
- **Intercambiadores de calor:** Estos equipos pueden ser de placas o de carcasa y tubos, deben manejar las condiciones de diseño y facilitar un intercambio térmico eficiente.
- **Sistema de expansión:** Este mecanismo gestiona los cambios de volumen del líquido en el sistema, utilizando nitrógeno o agua, dependiendo del diseño.

### 2.4. Almacenamiento térmico

El almacenamiento térmico desempeña un papel esencial en las plantas solares térmicas de concentración al proporcionar una solución para mitigar la variabilidad en la disponibilidad de radiación solar y permitir el aporte continuado de calor, lo cual puede ser especialmente relevante en determinadas industrias que operan tanto de noche como de día.

Por lo tanto, la incorporación de un sistema de almacenamiento térmico optimiza la generación de calor, mejorando la eficiencia del proceso y facilitando el equilibrio entre la oferta y la demanda de energía.

El almacenamiento térmico es un componente esencial para permitir **que el sistema de energía solar térmica de concentración garantice un suministro continuo**, así como la operatividad ininterrumpida de la industria, incluso cuando la radiación solar es insuficiente.

Existen diferentes tipos de sistemas de almacenamiento térmico, como los de calor sensible, calor latente y los sistemas basados en reacciones químicas. Cada uno de estos sistemas ofrece ventajas específicas para gestionar la energía térmica en función de las necesidades del proceso industrial y las condiciones operativas. La elección del sistema adecuado depende de factores como la demanda de calor, la tecnología de la planta y las condiciones locales.

## 2.5. Posibilidades de hibridación con otras tecnologías renovables

La hibridación de la energía solar térmica de concentración con otras tecnologías renovables implica integrar esta tecnología con fuentes adicionales de energía para optimizar la producción y eficiencia. La hibridación puede contemplar la integración con tecnologías renovables como la energía fotovoltaica, geotérmica, hidrotermia, y sistemas de electrificación (calderas eléctricas y bombas de calor), así como combustibles renovables como la biomasa, biogás e hidrógeno o fuentes de energía convencionales como el gas natural.

Las limitaciones para la hibridación incluyen desafíos técnicos relacionados con la integración de sistemas y la regulación de la generación térmica, así como restricciones de temperatura que requieren equipos especializados para procesos industriales. Además, la disponibilidad de recursos como el biogás y la biomasa puede ser limitada, lo que puede afectar la viabilidad de ciertas combinaciones.

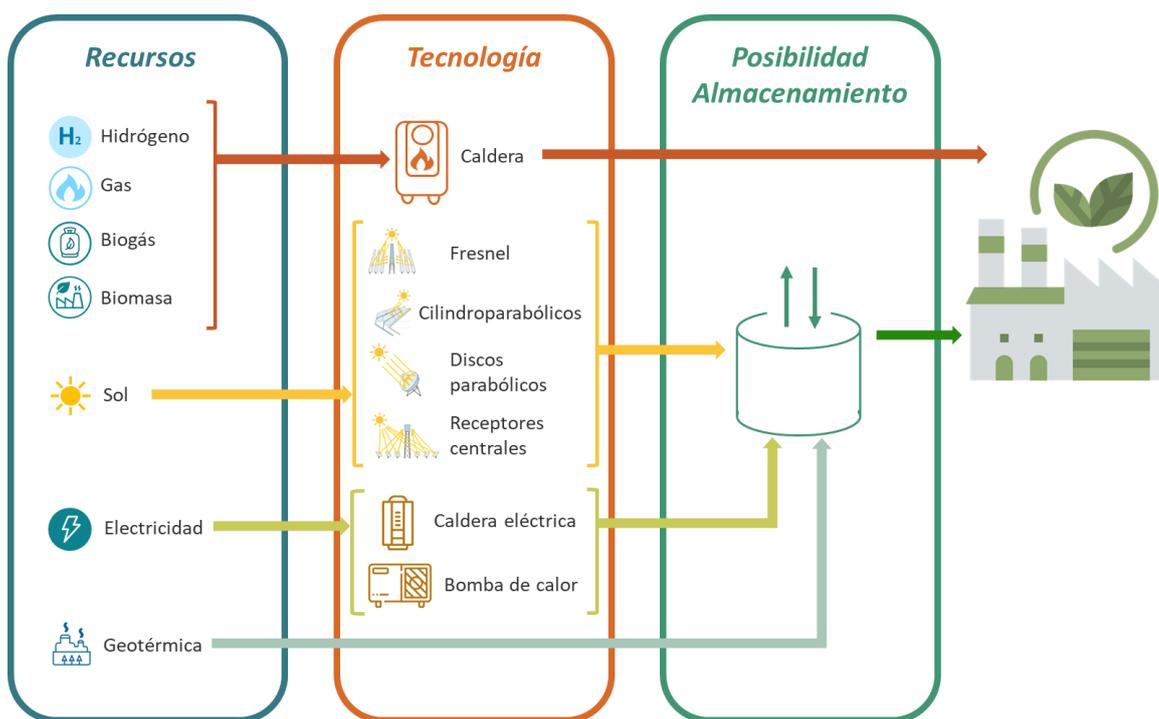


Figura 3. Resumen esquemático de las posibilidades de hibridación tecnológica.

La hibridación de la energía solar térmica de concentración con otras tecnologías renovables mejora la eficiencia del sistema al integrar diversas fuentes de energía, lo que permite una optimización en la generación y gestión de recursos. Este enfoque híbrido mejora la estabilidad operativa y maximiza la sinergia entre distintas tecnologías, contribuyendo a una transición energética más resiliente y eficaz.

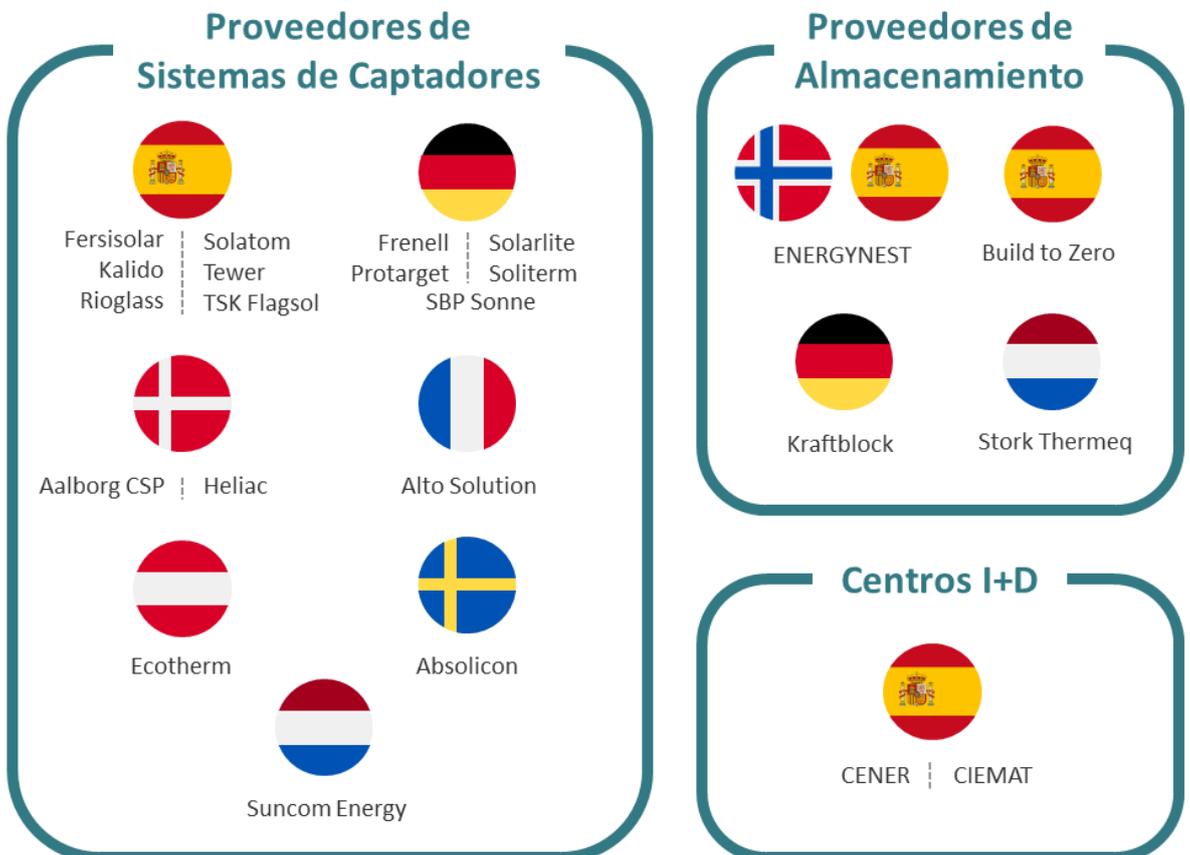
## 2.6. Operación y Mantenimiento de Instalaciones

Para una gestión efectiva de una planta solar térmica de concentración en un entorno industrial es necesario contar con un equipo que asegure la correcta operación y mantenimiento de las instalaciones. Si bien existen diferentes modalidades, en función de la entidad encargada de efectuar estas tareas (equipo propio de la industria, empresa especializada, etc.), es necesario en todo caso contar con personal especializado en la operación y mantenimiento de los sistemas y establecer una estructura organizativa que cumpla con las normativas y estándares de aplicación.

Adicionalmente, el sistema de control debe cubrir desde la supervisión de equipos hasta la gestión de incendios y ventilación. Las operaciones se manejan típicamente a partir de ajustes remotos y el análisis de datos históricos. Por último, una estrategia de mantenimiento clara, una gestión efectiva de repuestos y el uso de herramientas computarizadas son aspectos fundamentales para asegurar un correcto funcionamiento de la planta.

## 2.7. Base de datos de proveedores de tecnología en España

En los últimos años, varios proveedores de tecnología SHIP han ganado relevancia en la industria solar térmica de concentración, tanto a nivel español como europeo. A continuación, se mencionan los principales agentes identificados, los cuales ofrecen soluciones avanzadas para la captación y almacenamiento de energía térmica. Para un detalle sobre sus actividades y especializaciones, consulte el 10.8 Base de datos de proveedores de tecnología en España.







# 3. Integración de la energía solar térmica de concentración en la industria

## 3.1. Procesos térmicos en la industria

Los procesos industriales requieren calor en rangos de temperatura que pueden ser suministrados por sistemas solares térmicos. Un porcentaje significativo de la demanda de calor en el rango de temperatura media se encuentra en las industrias de alimentos, bebidas, papel y textiles, mientras que las industrias químicas y del plástico requieren calor en rangos de temperatura alta. Estos sectores necesitan más del 50% de su calor total de proceso en el rango de temperatura de hasta 250 °C, utilizado en aplicaciones diversas.

A continuación, se enumeran diversos procesos industriales que utilizan temperaturas bajas, medias y altas, para proporcionar una visión general. No obstante, es preciso señalar que esta guía se focaliza en los procesos de media y alta temperatura (AIE-ETSAP & IRENA, 2015) (McMillan, y otros, 2021).

Sector Industrial	Operación	Rango de Temperatura (°C)
Alimentario	Secado	30-90
	Lavado	60-90
	Pasteurización	60-80
	Ebullición	96-105
	Esterilización	110-120
	Tratamiento de Calor	40-60
	Refrigeración térmica	55-180
	Fritura Industrial	170-240
Bebidas	Lavado	60-80
	Esterilización	60-90
	Refrigeración térmica	55-180
	Pasteurización	60-70
Papel y Cartón	Cocinado y Secado	60-130
	Agua de Caldera	60-90
	Fabricación cartón corrugado	130-190
	Refrigeración térmica	55-180
	Blanqueado	130-150
Tratado de Superficies Metálicas	Tratamiento galvanización	30-80
Ladrillos y Bloques	Curado	60-140

Sector Industrial	Operación	Rango de Temperatura (°C)
Textiles	Blanqueado	60-100
	Teñido	70-90
	Secado, desgrasado	100-130
	Lavado	40-80
	Fijación	160-180
	Prensado	80-100
Químicos	Jabones	200-260
	Goma sintética	150-200
	Refrigeración térmica	55-180
	Calor de proceso	120-180
	Precautado de agua	60-90
Farmacéutica	Esterilización seca	160-180
	Esterilización húmeda	121-134
Plásticos	Preparación	120-140
	Destilación	140-150
	Separación	200-220
	Laminación	140-160
	Secado	180-200
	Mezcla	120-140
	Extrusión	140-260
Derivados de la harina	Esterilización	60-90
Siderúrgica	Desgasificación	190-240
Metalúrgica	Refino	150-200
Todos los sectores	Precautado y ebullición de agua de proceso	30-100
	Refrigeración térmica	55-180
	Climatización de espacios	80-180

Tabla 1. Temperaturas de procesos industriales.

A continuación, se detallan algunos de los procesos típicos específicos del sector industrial y comercial de alta y media temperatura.

### 3.1.1. Preparación de alimentos

Los procesos térmicos en el sector alimentario son variados y exigen diferentes niveles de energía según su aplicación. Entre los principales procesos que demandan altos niveles de energía térmica se encuentran el secado, los tratamientos de seguridad alimentaria y la cocción. El secado, que elimina el agua de los alimentos mediante la aplicación de energía térmica para aumentar la temperatura, generalmente opera a bajas temperaturas. La pasteurización y la esterilización, por su parte, eliminan patógenos y otros microorganismos dañinos: la primera se aplica directamente al alimento a temperaturas moderadas, mientras que la segunda se utiliza principalmente en equipos, envases y maquinaria a temperaturas más elevadas. Finalmente, los procesos de cocción, como la ebullición y la fritura, modifican características del alimento, como la textura y el sabor,

mientras eliminan organismos nocivos. La fritura, por ejemplo, requiere temperaturas más altas, alcanzando hasta 240°C al trabajar con aceites y grasas en aplicaciones convencionales.

### 3.1.2. Ebullición

La ebullición industrial consiste en el calentamiento de líquidos para que pasen a fase gaseosa. Dependiendo del producto deseado, el proceso se llama evaporación o destilación. Para la evaporación, se emplea la energía térmica para elevar la temperatura del producto hasta o por encima del punto de ebullición del líquido para que, al producirse el cambio de fase, se separe el sólido del gas secando el producto y eliminando en gran parte la concentración inicial del líquido. La destilación aprovecha los diferentes puntos de ebullición de los componentes de una mezcla líquida para separarlos, cambiando de fase al componente con punto de ebullición menor y volviendo a condensar este componente una vez separado. Los productos restantes son los componentes separados y concentrados.

Estos procesos se utilizan en la industria alimentaria, química, textil, farmacéutica y de saneamiento en diferentes procesos de separación y concentración.

### 3.1.3. Esterilización

La esterilización consiste en la eliminación de todos los microorganismos que contiene un objeto o sustancia. Estos microorganismos pueden ser perjudiciales para la salud de las personas o contaminar otros procesos industriales a los que puedan ser sometidos algunos productos. Se considera estéril un producto cuando la probabilidad de encontrar una unidad contaminada es menor o igual a  $10^{-6}$  o una por cada millón de unidades iguales producidas.

Entre los diferentes métodos de esterilización se encuentra la aplicación de energía térmica para aumentar la temperatura al que todos los microorganismos son susceptibles en diferentes medidas. El calor puede desnaturalizar proteínas, fusionar y desorganizar las membranas y provocar procesos irreversibles de oxidación en materia orgánica, y su efectividad depende del grado de temperatura y el tiempo de exposición. El calor aplicado puede ser seco o húmedo (uso de vapor de agua) con diferentes ventajas según la aplicación y el producto a esterilizar.

La esterilización térmica se emplea principalmente en la industria alimentaria, farmacéutica y de sanidad, y de saneamiento y ambiental.

### 3.1.4. Síntesis química

La síntesis de productos químicos se produce en varios subsectores de la industria química, como pueden ser la petroquímica, farmacéutica, de fertilizantes, solventes, pesticidas, plásticos, etc. La calidad de los productos de estas industrias depende en gran medida del rendimiento de los sistemas de calor.

En un proceso químico como la síntesis de una molécula, el calor interviene en varias etapas incluyendo el calentamiento, enfriamiento, la condensación y la evaporación o secado de diferentes componentes. Permite crear una serie de condiciones constantes bajo las cuales se puede producir una reacción determinada. En ciertas reacciones, dependiendo de si se trata de una reacción

exotérmica o endotérmica, se requiere de un control dinámico de temperatura en particular si las reacciones ocurren en rangos extremos de temperatura.

### 3.1.5. Secado

El secado de productos se produce en varios subsectores de la industria, incluyendo la alimentaria, farmacéutica y textil, entre otros. Emplea la energía térmica para provocar la evaporación de agua en el producto mediante distintas técnicas, entre ellas la conducción y la convección.

El secado por conducción o secado indirecto es más apropiado para productos finos o sólidos altamente húmedos como los líquidos pastosos o viscosos. El calor se transmite por superficies con las que el producto entra en contacto directo, o en reposo o en movimiento. Las superficies típicamente se calientan con vapor, y la humedad evaporada se retira del entorno mediante vacío o con una corriente de gas. La eficiencia de este tipo de secador es bastante alta ya que las pérdidas de entalpía son reducidas.

El secado por convección opera haciendo que el aire caliente circule a través y sobre los productos. Esto reduce la humedad del aire alrededor de los productos y provoca la evaporación del solvente que contienen. A medida que la temperatura del aire aumenta, el proceso de secado se acelera. Dado que el aire caliente puede provocar la oxidación de los productos, el secado por convección puede deteriorar significativamente las propiedades nutricionales y el color de los ingredientes, lo que lo hace poco adecuado para el secado de alimentos.

### 3.1.6. Procesos plásticos

El uso de calor en la fabricación de plásticos implica varias etapas críticas, como la preparación, extrusión, mezcla y moldeo. Cada etapa utiliza el calor para transformar materias primas en productos plásticos terminados.

El proceso comienza con el procesado de los pellets o gránulos de plástico para eliminar la humedad, a menudo utilizando aire caliente. Este paso asegura que los materiales estén libres de contaminantes y listos para la mezcla, que implica la combinación de diferentes tipos de plásticos o aditivos para lograr las propiedades deseadas. Se aplica calor para asegurar una mezcla uniforme y completa, lo cual puede realizarse en procesos por lotes o continuos.

En el proceso de extrusión, los pellets de plástico secos se introducen en un extrusor, donde se calientan hasta alcanzar un estado fundido. Este plástico fundido se fuerza a través de una matriz para crear formas continuas como tubos, láminas o películas. A medida que el plástico sale de la matriz, se enfría rápidamente para solidificarse y mantener su forma.

Por último, en la fase de moldeo, el calor juega un papel crucial en varios procesos. En primer lugar, en el moldeo por inyección, el plástico mezclado y extruido se recalienta hasta que se vuelve fundido y se inyecta en una cavidad del molde bajo alta presión. El molde se mantiene a una temperatura controlada para enfriar y solidificar el plástico en la forma final, tras lo cual se expulsa el producto terminado. Por otro lado, en el moldeo por soplado, el plástico también se calienta hasta que se funde, se forma en una preforma y luego se infla dentro de un molde para crear objetos huecos como botellas y el propio molde enfría el plástico hasta obtener su forma final. El

control preciso de la temperatura es esencial para asegurar que los productos finales tengan las propiedades mecánicas y la calidad deseadas.

### 3.1.7. Refrigeración y Calefacción

La refrigeración y calefacción industrial se emplean en la gran mayoría de sectores productivos, ya sea para procesos que requieren un control estricto de la temperatura o para garantizar condiciones óptimas en el entorno laboral.

El funcionamiento de un sistema de refrigeración industrial se basa en el principio de que un fluido, al evaporarse, absorbe calor de su entorno. Los refrigerantes son fluidos especiales con un punto de evaporación muy bajo. Cuando el citado fluido accede al evaporador, este se evapora y absorbe calor de su entorno, específicamente del aire que pasa por el evaporador. El fluido evaporado pasa por un compresor donde se eleva su temperatura y presión, las cuales representan las condiciones idóneas para volver a ser condensado y en dicho proceso se cede el calor absorbido del medio a enfriar hacia el ambiente. Al ser condensado de nuevo, el fluido, en estado líquido, disminuye su presión y se introduce de nuevo en el evaporador, comenzado de nuevo el ciclo de enfriamiento.

En el caso de la calefacción, la energía térmica puede utilizarse para elevar la temperatura en espacios que lo requieran, como en procesos industriales sensibles a la degradación de materiales o para crear un ambiente confortable para el personal durante épocas frías.

Por su parte, los sistemas de *solar cooling* ofrecen una solución sostenible, utilizando ciclos cerrados para producir agua fría o ciclos abiertos que enfrían aire mediante agua como refrigerante. Estos sistemas también requieren elementos de expulsión de calor, como torres de enfriamiento, y suelen complementarse con sistemas de respaldo. Su principal beneficio económico radica en la disminución del consumo energético convencional, siendo especialmente útiles en instalaciones con necesidades simultáneas de calefacción y refrigeración, como hoteles, granjas lecheras o viviendas con piscinas climatizadas.

### 3.1.8. Desgasificación

En la industria siderúrgica, la desgasificación térmica se emplea en la eliminación de gases disueltos en el metal líquido, como el hidrógeno, nitrógeno y oxígeno. Estos gases pueden generar imperfecciones en la estructura interna del material, afectando tanto sus propiedades mecánicas como la calidad final del acero. Este proceso se basa en disminuir la solubilidad de dichos gases al someter el material a altas temperaturas en condiciones controladas.

El procedimiento generalmente se lleva a cabo en hornos de vacío, donde el metal líquido se calienta a temperaturas extremas mientras se reduce la presión del entorno. Este vacío facilita la expulsión de los gases disueltos, que migran desde el interior del metal hacia su superficie para ser extraídos. Asimismo, el control preciso de la temperatura y el vacío impide que los gases sean reabsorbidos, asegurando un proceso eficiente de purificación.

### 3.1.9. Refino

El refino térmico en la industria metalúrgica es un proceso que permite mejorar la pureza y las propiedades del metal mediante el uso de altas temperaturas. Este método se emplea para eliminar impurezas, ajustar la composición química y optimizar las características mecánicas del material final.

El proceso se lleva a cabo en hornos especializados, donde el metal se calienta a temperaturas elevadas. Durante este calentamiento, las impurezas se separan, ya sea como escoria o por volatilización, según su naturaleza.

## 3.2. Diseño de las instalaciones solares térmicas de concentración para industrias

### 3.2.1. Aspectos generales

La tecnología solar térmica de concentración presenta aplicaciones en múltiples sectores industriales que demandan calor en sus procesos. En este sentido, destacan industrias como la alimentaria (pasteurización y lavado en derivados lácteos, procesado en industrias cárnicas), embotelladoras (en procesos de esterilización y limpieza), tratamiento de aguas (procesos de calentamiento y evaporación), etc.

Existen diferentes tipologías de integración en la industria, las cuales se describen en el presente apartado a partir de determinados casos de uso. Un aspecto clave en la integración de la tecnología solar térmica de concentración en la industria es el tipo de integración: a nivel de proceso o a nivel de producción (ver Figura 4):

- **Integración a nivel de proceso industrial:** se refiere a la incorporación de la tecnología directamente en las operaciones específicas que conforman el proceso productivo. Si la integración se efectúa a nivel del proceso industrial, se considera con carácter general una aproximación más intrusiva y por tanto con mayor oposición en el usuario industrial. Adicionalmente, la presión de operación es menor y existe menor grado de estandarización.
- **Integración a nivel de producción o suministro:** En el caso en el que la integración se realiza a nivel de producción o suministro, la tecnología se integra en puntos centrales que abastecen energía térmica para múltiples procesos dentro de la planta industrial. Se considera que es una aproximación menos intrusiva y, por lo tanto, con mejor aceptación por parte de los usuarios industriales. Se utilizan mayores presiones de operación y son sistemas más estandarizados.

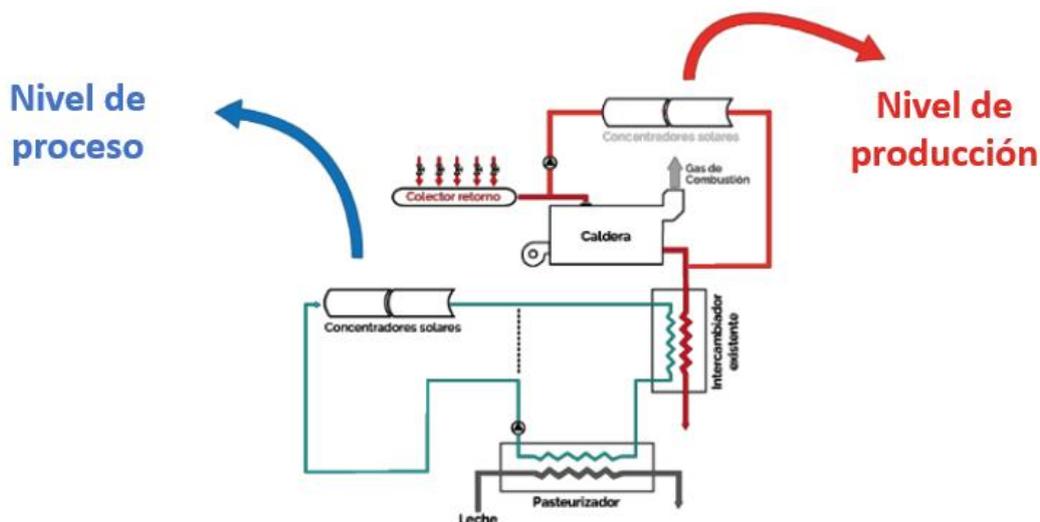


Figura 4. Integración de sistemas SHIP en proceso industrial (AIE SHC Task 49, 2015).

A continuación, se presentan diferentes esquemas de integración, en función del nivel (de proceso o producción) en el que se efectúen, según la información publicada en la AIE SHC Task 49 en 2015.

Cuando se efectúa la integración en el nivel de producción, se realiza una distinción entre el uso de vapor y los medios líquidos para la transferencia de calor. Los enfoques de integración para los medios líquidos son aplicables a agua sobrecalentada, medios sintéticos o aceites térmicos, y las diferencias entre ellos radican principalmente en el tipo de intercambiador de calor requerido. Al utilizar vapor, se pueden emplear tres conceptos de integración diferentes: generación de vapor solar (integración en paralelo), calentamiento del agua de alimentación de la caldera y calentamiento del agua de reposición (ambos mediante integración en serie). Las estrategias de integración en serie varían principalmente en función del nivel de temperatura y las medidas potenciales de recuperación de calor. Adicionalmente a la integración en paralelo y en serie del calor solar en sistemas de suministro de calor convencionales con medios líquidos, existe la opción de calentar almacenamientos o sistemas en cascada que forman parte del sistema de calor convencional.

Por otro lado, en la integración a nivel de proceso, se distingue entre el tipo de proceso y el método de calentamiento convencional. Los procesos pueden ser de precalentamiento de fluidos, calentamiento de equipos o tanques o procesos de separación térmica. El calentamiento puede realizarse mediante intercambiadores de calor externos, internos o inyección de vapor. Los diferentes procesos requieren enfoques de integración específicos, como el uso de intercambiadores de calor alimentados por energía solar o la generación de vapor con energía solar. En la Figura 5 se muestra la clasificación general de la AIE SHC Task 49 de los diferentes mecanismos de integración existentes en función del nivel (de producción o proceso) y otras características propias de cada mecanismo.

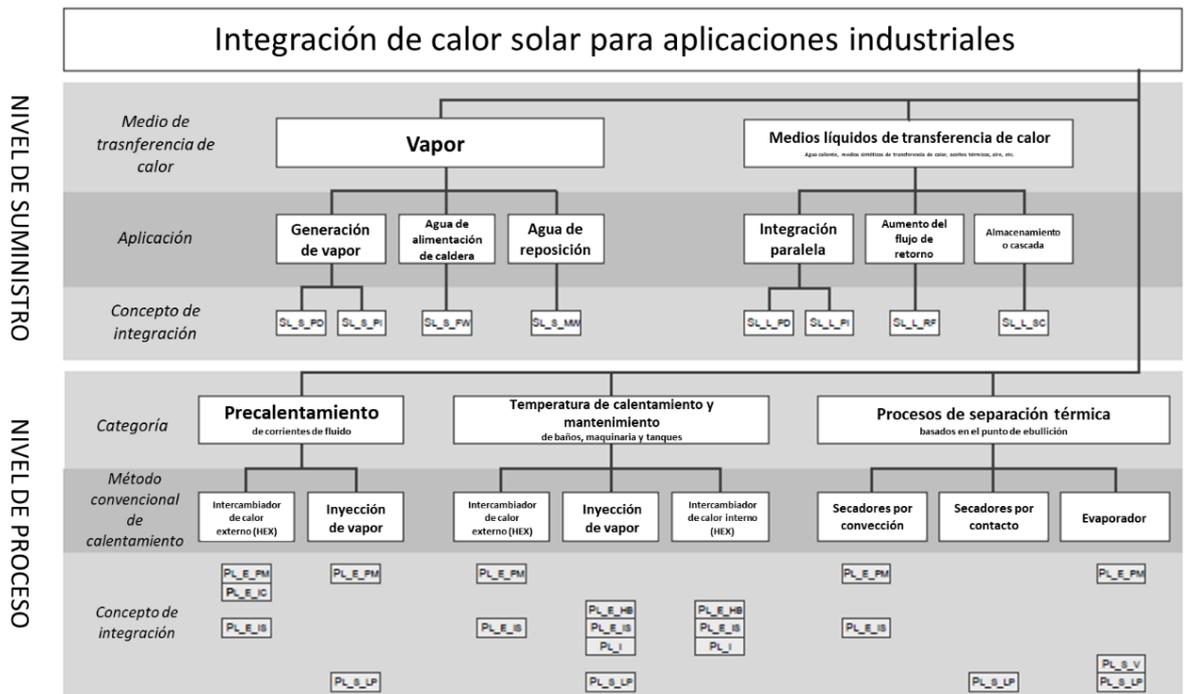


Figura 5. Clasificación de consumidores industriales de calor en procesos de integración de energía solar térmica (AIE SHC Task 49, 2015).

### 3.2.2. Modalidades de integración con el proceso industrial

A continuación, se presentan los conceptos relevantes en la integración del sistema solar térmico en el proceso industrial. Cada esquema de integración se ilustra con un diagrama de flujo. En la Figura 6 se muestran los símbolos fundamentales que se incorporan en cada diagrama.

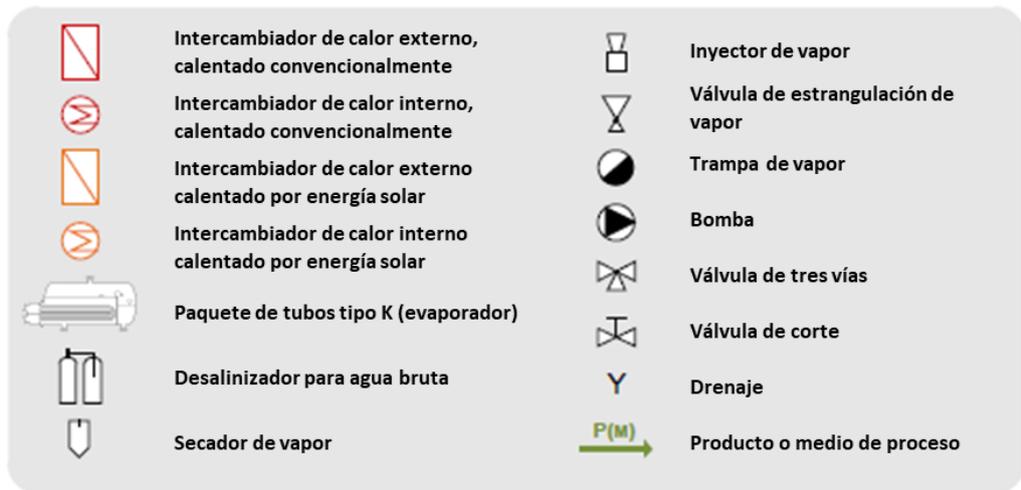


Figura 6. Simbología que considerar en los esquemas de integración de energía solar térmica en la industria (AIE SHC Task 49, 2015).

3.2.2.1. Nivel de producción con vapor (SL\_S)

Cuando se requieren niveles de temperatura elevados para la integración simultánea de calor solar (producción de vapor solar), es necesario tomar en consideración la selección de captadores adecuados para el proceso. Dado que el nivel de temperatura necesario para la integración simultánea de calor solar en sistemas de vapor convencionales generalmente supera los 150°C, se podría requerir el uso de captadores concentradores. Por lo tanto, es imprescindible considerar los datos de irradiación específicos del lugar de la instalación para seleccionar el tipo de captador más apropiado.

3.2.2.2. Generación directa de vapor solar (SL\_S\_PD)

Para la modalidad de integración de generación directa de vapor solar, se requiere un tambor de vapor que sea alimentado por captadores de concentración. El agua de alimentación de la caldera se suministra al sistema de calentamiento solar y se evapora parcialmente. La mezcla de agua y vapor se dirige al tambor de vapor donde se separa. El agua acumulada se devuelve al circuito del captador. En caso de que haya suficiente presión en el tambor de vapor, el vapor se introduce en el circuito de vapor convencional.

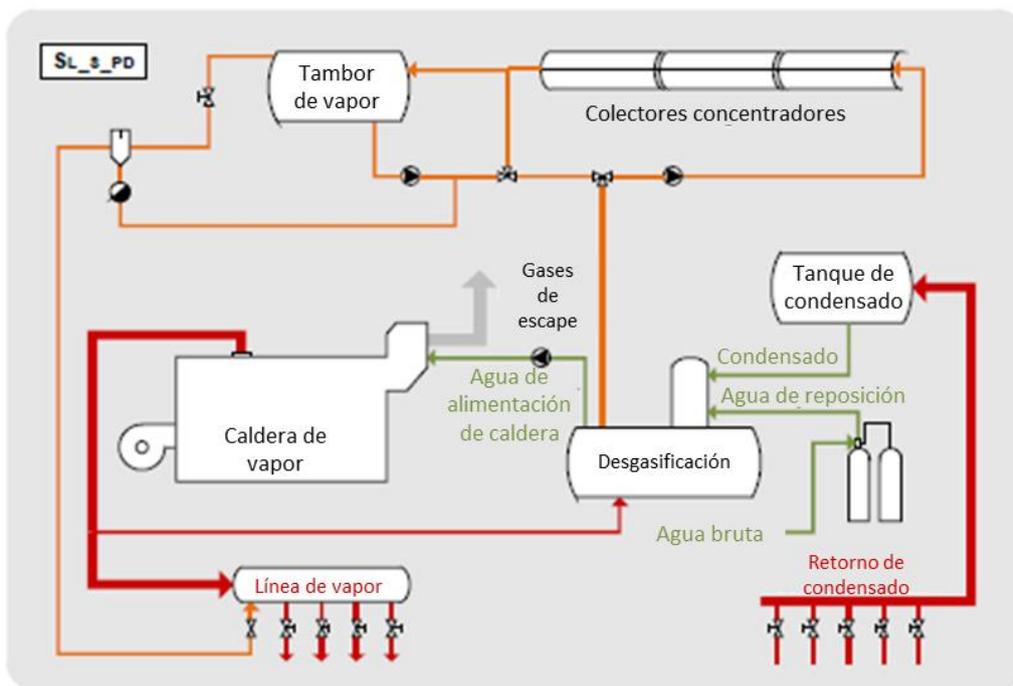


Figura 7. Modalidad de integración para la generación directa de vapor solar (SL\_S\_PD) (AIE SHC Task 49, 2015)).

Mientras que el vapor solar se introduce en el circuito existente, la caldera de vapor convencional reduce su producción de vapor de manera similar a los periodos de operación con carga reducida. La pérdida real de eficiencia de la caldera de vapor causada por el sistema de calentamiento solar está influenciada por la relación entre la potencia solar instalada y la capacidad convencional, la carga típica y el rendimiento de la caldera de vapor (alcance de la modulación).

El sistema con válvula de laminación es un diseño alternativo para la generación directa de vapor. En ese sistema, el agua se calienta directamente en el circuito, se recoge en un tanque caliente y luego se convierte en vapor a través de una válvula de laminación a la presión requerida. Este procedimiento elimina la necesidad de un generador de vapor y puede proporcionar caudales variables de vapor al consumidor sin perjudicar la vida útil de los equipos.

3.2.2.3. Generación indirecta de vapor solar (SL\_S\_PI)

En lo relativo a la interacción del sistema de calentamiento solar con el sistema convencional de suministro de vapor, esta modalidad de integración es similar a la anterior. En este caso, se utilizan captadores concentradores con agua presurizada o aceite térmico como medio de transferencia de calor para alimentar un intercambiador de calor especial para la evaporación (generalmente un recalentador tipo caldera). El intercambiador de calor opera a la misma presión que el sistema de vapor convencional.

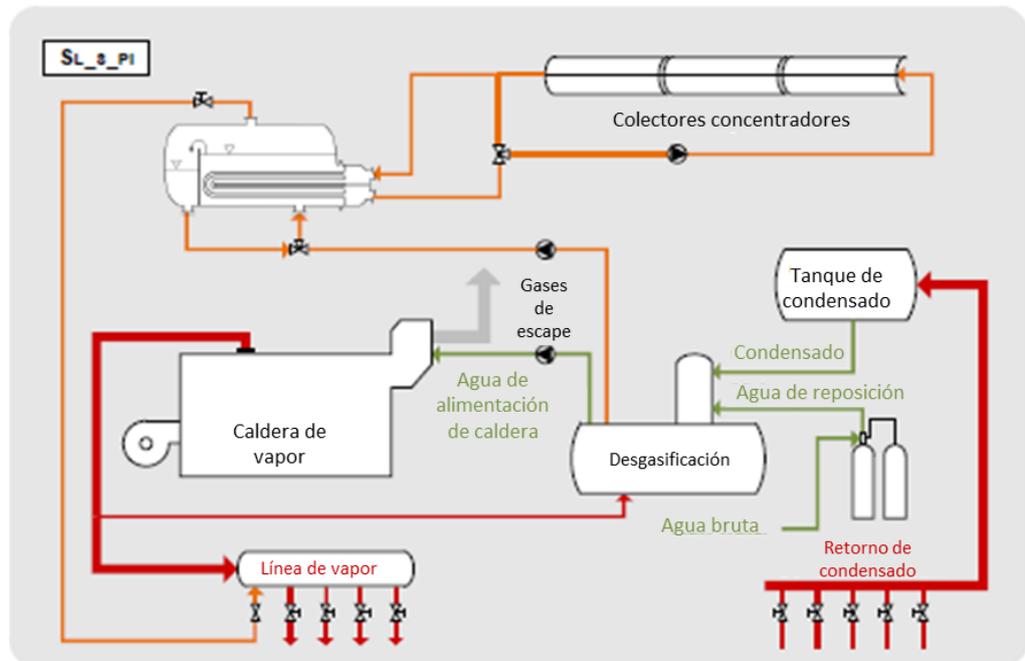


Figura 8. Modalidad de integración para la generación indirecta de vapor solar (SL\_S\_PI) (AIE SHC Task 49, 2015).

3.2.2.4. Calentamiento solar del agua de alimentación de la caldera (SL\_S\_FW)

La integración en serie del calor solar para calentar el agua de alimentación de la caldera tiene lugar después de la desgasificación. Normalmente, la desgasificación se realiza alrededor de los 105 °C. La temperatura del agua de alimentación de la caldera depende de la presión de suministro de la caldera de vapor y suele estar en el rango de 160 a 220 °C (equivalente a una presión de 6 a 23 bares). Típicamente, el agua de alimentación de la caldera se precalienta mediante un economizador antes de ingresar a la caldera de vapor (aproximadamente 30 °K). La diferencia de temperatura restante puede ser suministrada por el calor solar. Considerando el dimensionamiento de los economizadores, no siempre es posible realizar un precalentamiento solar de agua de alimentación de la caldera antes del economizador.

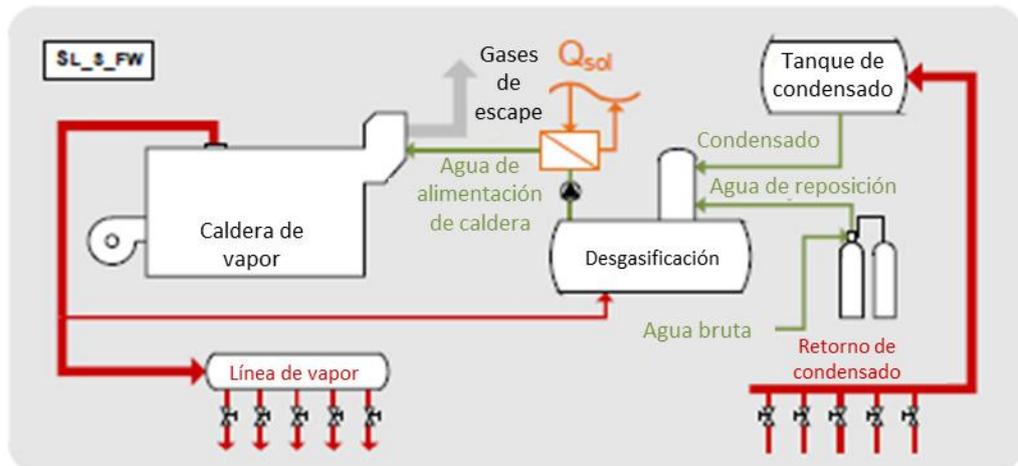


Figura 9. Concepto de integración para el precalentamiento del agua de alimentación de la caldera (SL\_S\_FW) (AIE SHC Task 49, 2015).

### 3.2.2.5. Calentamiento solar del agua de reposición (SL\_S\_MW)

Esta última modalidad de integración para sistemas de vapor consiste en el precalentamiento del agua de reposición, el cual se requiere para compensar las pérdidas de condensado causadas por la evaporación instantánea, el purgado y el consumo directo de vapor. El agua de reposición se introduce en el proceso de desgasificación después del desalinizado. En principio, la cantidad de agua de reposición puede ser calentada por energía solar antes de la desgasificación. Sin embargo, varias fuentes de calor residual dentro de la sala de calderas pueden disminuir significativamente el potencial de implementación del calor solar.

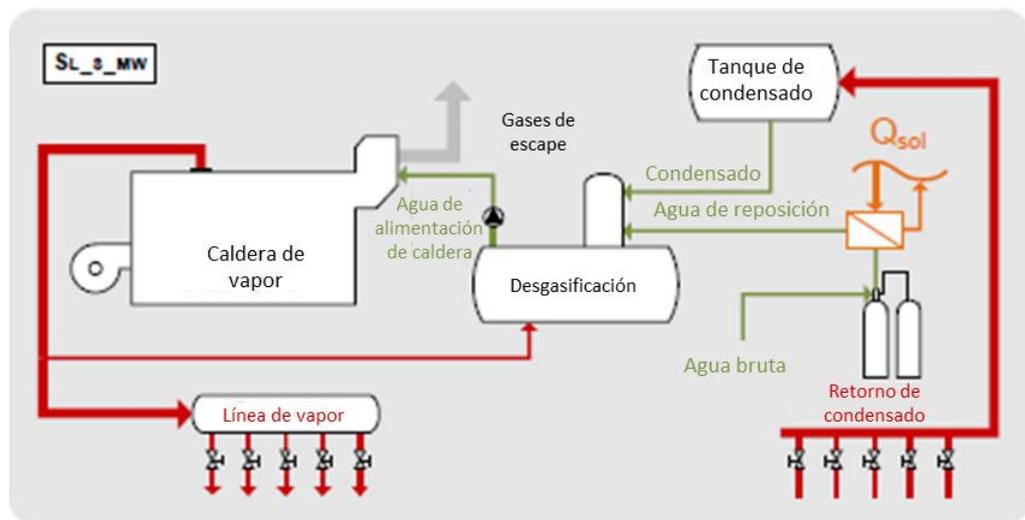


Figura 10. Concepto de integración para el precalentamiento del agua de reposición (SL\_S\_MW) (AIE SHC Task 49, 2015).

### 3.2.2.6. Nivel de producción con medios de transferencia de calor líquidos (SL\_S)

Para los medios de transferencia de calor líquidos, se pueden implementar distintos enfoques de integración en comparación con los sistemas de vapor. Además de la integración simultánea y

secuencial del calor solar, también es viable calentar sistemas de almacenamiento o en cascada que forman parte del sistema convencional de suministro de calor. Dada su importancia en la industria, estos enfoques de integración se emplean principalmente en circuitos de agua caliente. Sin embargo, también pueden ser utilizados para medios de transferencia de calor sintéticos y aceites térmicos, que suelen operar en un rango de temperatura de 250 a 400 °C.

3.2.2.7. Integración en paralelo (SL\_L\_P)

Para la integración en paralelo del calor solar en circuitos de agua caliente, el retorno se divide antes de llegar a la caldera convencional y se dirige parcialmente a través del sistema de calentamiento solar para luego reintegrarse en el flujo principal. Por lo tanto, el control del sistema de calentamiento solar debe garantizar que el retorno se caliente a la temperatura de flujo requerida. La integración puede realizarse de manera directa (SL\_L\_PD) o indirecta (SL\_L\_PI). Para la integración directa, el agua del circuito de calefacción pasa directamente a través de los captadores, mientras que se utiliza un intercambiador de calor para la integración indirecta.

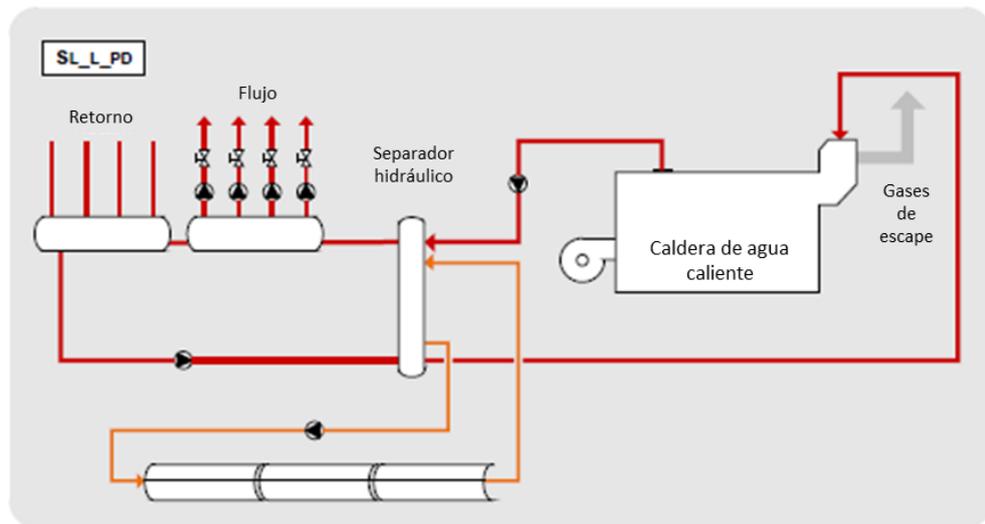


Figura 11. Concepto de integración para la integración directa en paralelo a nivel de suministro con medios caloportadores líquidos (SL\_L\_PD) (AIE SHC Task 49, 2015).

En ocasiones, también se pueden encontrar circuitos de calor combinados en la industria que utilizan vapor como medio de transferencia de calor primario para generar agua caliente como medio de transferencia de calor secundario a través de intercambiadores de calor o cascadas de agua caliente. Esto también puede darse al revés en industrias con una demanda de vapor a baja presión poco significativa. En este caso, el agua caliente se utiliza como medio de transferencia de calor primario y produce vapor a través de agua caliente en un pequeño tambor de vapor.

3.2.2.8. Impulso solar del retorno del flujo (SL\_L\_RF)

La integración en serie del calor solar es similar al concepto de integración SL\_L\_PI, con la diferencia de que el retorno se precalienta. Por lo tanto, el sistema de calentamiento solar no necesita suministrar una temperatura establecida fija. El operador de la planta industrial puede no desear el calentamiento de la línea de retorno si la eficiencia del sistema de calor convencional se ve afectada de manera negativa (por ejemplo, caldera de condensación, CHP o calefacción urbana).

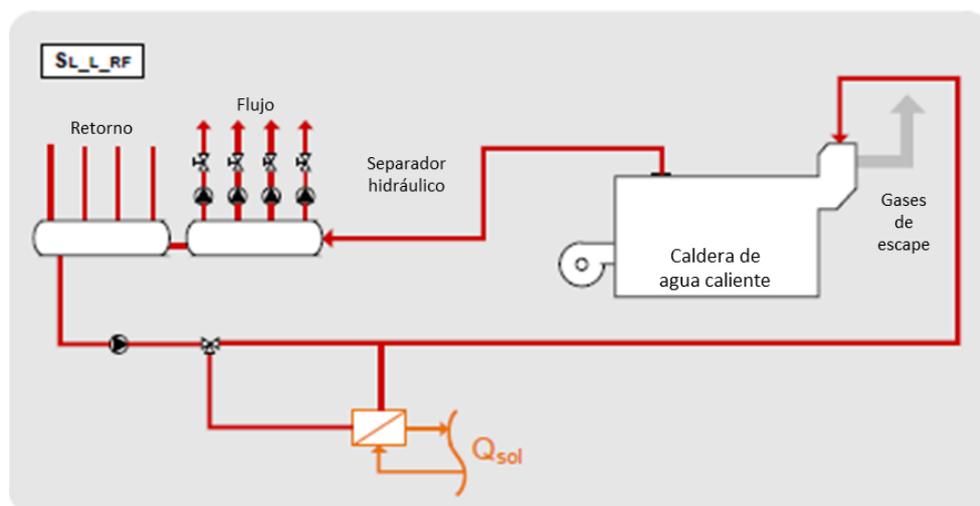


Figura 12. Concepto de integración para el acoplamiento en serie a nivel de suministro con medios caloportadores líquidos (SL\_L\_RF) (AIE SHC Task 49, 2015).

### 3.2.2.9. Nivel de proceso con intercambiador de calor externo (PL\_E) o interno (PL\_I)

A nivel de proceso, se distinguen tres tipologías generales para la integración de calor solar. La primera clase es la integración de un intercambiador de calor externo alimentado con energía solar. Para esta clase, se pueden aplicar cuatro modalidades diferentes: conexión en serie de un intercambiador de calor externo para calentar productos o medios de proceso (PL\_E\_PM), conexión en serie de un intercambiador de calor externo para calentar el circuito de agua caliente intermedio (PL\_E\_IC), integración de un intercambiador de calor externo para calentar baños, maquinaria o tanques (PL\_E\_HB) e integración de un intercambiador de calor externo para calentar flujos de entrada (PL\_E\_IS). Además de la integración de intercambiadores de calor externos, los procesos pueden ser suministrados con energía térmica mediante intercambiadores de calor internos.

No obstante, es preciso indicar que la mayor parte de los proyectos en alta y media temperatura (segmento objeto de análisis en la presente guía), se basan en un proceso de integración a nivel de suministro. La integración a nivel de proceso es más habitual en procesos de baja temperatura.

### 3.2.2.10. Suministro de vapor a nivel de proceso con presión reducida (PL\_S)

La tercera categoría para la integración del calor solar cubre la generación de vapor solar con presión reducida. Por lo tanto, se pueden aplicar dos conceptos para suministrar vapor con vacío (PL\_S\_V) o con baja presión en un rango de temperatura de 110 a 135 °C (PL\_S\_LP).

### 3.2.2.11. Generación de vapor solar al vacío (PL\_S\_V)

La generación de vapor solar dentro de un vacío puede aplicarse a numerosos procesos de evaporación, por ejemplo, en la industria de alimentos y bebidas, ya que las temperaturas típicas del proceso están en el rango de 40 a 80 °C. Por lo tanto, se requiere un almacenamiento evacuado con un intercambiador de calor convencional. El condensado del proceso de evaporación se precalienta con energía solar y se introduce en el almacenamiento evacuado. El condensado evaporado se devuelve al proceso de evaporación.

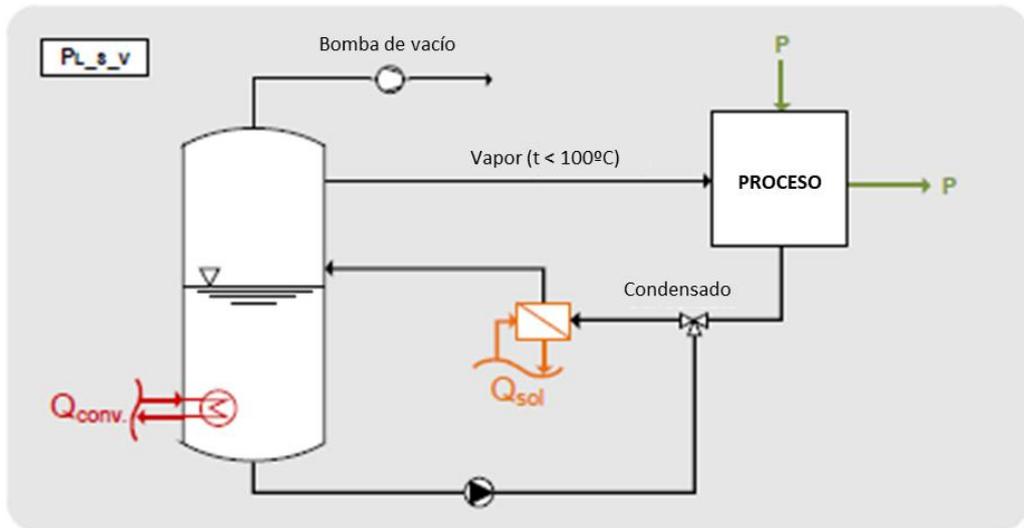


Figura 13. Concepto de integración para generación solar de vapor con vacío para calentamiento de evaporadores (PL\_S\_V) (AIE SHC Task 49, 2015)).

3.2.2.12. Generación de vapor solar a baja presión (PL\_S\_LP)

Para el suministro de vapor solar con presión reducida de 1,5 a 3 bares (de 110 a 135 °C) se requiere un recalentador tipo caldera que se alimenta con calor solar. El agua de alimentación o el condensado se introducen en el recalentador, se evaporan y se utilizan para calentar el proceso. Por lo tanto, la demanda de vapor convencional para el calentamiento por inyección se reduce. Según las instalaciones requeridas, esta modalidad de integración es similar a la SL\_S\_PI a nivel de producción. La única diferencia es el nivel de temperatura reducido en comparación con los sistemas de vapor convencionales en la industria. Por lo tanto, este concepto de integración también puede aplicarse en condiciones climáticas moderadas.

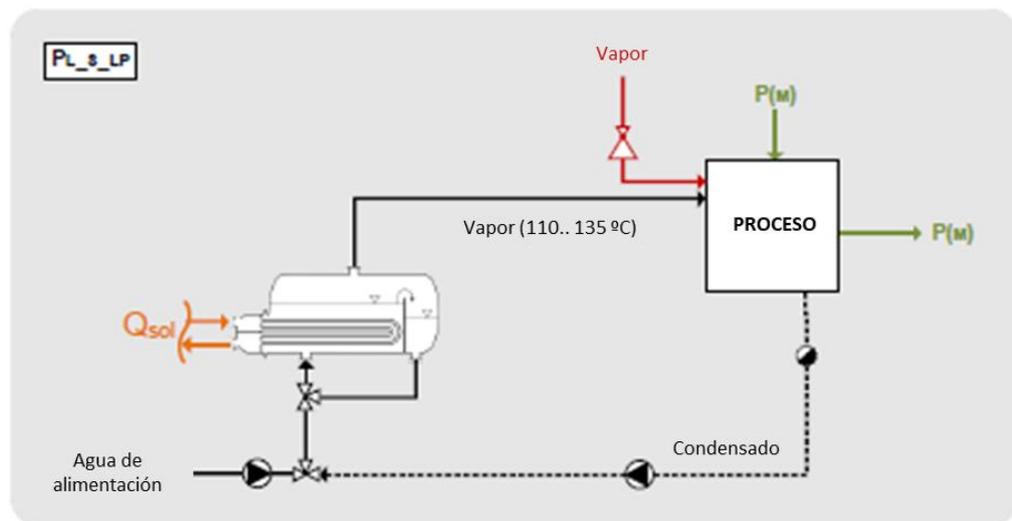


Figura 14. Concepto de integración para generación solar de vapor con presión reducida para inyección directa de vapor (PL\_S\_LP) (AIE SHC Task 49, 2015).

### 3.3. Sectores de mayor potencial

Solar Concentra y Solatom han realizado un estudio en el año 2017 en el que se evalúa la geolocalización del potencial de aplicaciones de calor solar de proceso en media temperatura. Para este análisis, se seleccionó un umbral que abarca aproximadamente el 50% superior de los municipios españoles en términos de radiancia horizontal global (GHI). Esto asegura que las ubicaciones elegidas cuenten con un recurso solar particularmente favorable, maximizando el rendimiento y la eficiencia de las instalaciones de concentración solar. No obstante, esto no es limitante, tal y como se ha señalado con anterioridad, ya que se reconoce que la tecnología de concentración solar puede ser viable incluso en municipios con irradiación solar más baja, siempre que otros factores, como la infraestructura disponible, la demanda energética local y las políticas de apoyo a las energías renovables, lo justifiquen.

Para el análisis realizado, se definió como área de estudio el territorio comprendido por cada municipio. En el estudio se consideraron un total de 8.124 municipios, que corresponden a los municipios existentes en España en agosto de 2017. Esta resolución es suficientemente precisa para obtener datos estadísticos fiables y para la planificación de acciones comerciales concretas.

Se ha identificado como alto potencial para la instalación de sistemas de concentración solar para calor de proceso emplazamientos con las siguientes características:

- Ubicación en zonas con alta radiación solar.
- Alta probabilidad de carecer de acceso a fuentes de energía de bajo coste.
- Procesos de producción que requieren el uso de un fluido de transferencia térmica.
- Disponibilidad de abundante superficie libre para la instalación de un sistema solar.

Es importante considerar que no se han tenido en cuenta ciertas variables como los aspectos medioambientales, la aversión al riesgo y la situación económica de la industria debido a la dificultad de obtener estos datos. Es por ello que, conforme a la metodología utilizada, se filtraron aquellos municipios españoles que superan un umbral seleccionado que abarca aproximadamente el 50% superior de los municipios españoles en términos de GHI. Complementariamente, se seleccionaron municipios con alta probabilidad de no disponer de una fuente de energía de bajo coste y se evaluó el consumo térmico en cuatro sectores industriales específicos.

Se han identificado industrias ubicadas en los municipios seleccionados, cuyos procesos requieren energía térmica mediante un fluido de transferencia y que cuentan con superficie libre para la instalación de sistemas solares. De este análisis, se han obtenido los siguientes resultados, que muestran la demanda de energía térmica por sector.

#### 3.3.1. Sector Papelero

En esta industria, los costes asociados al consumo energético representan aproximadamente el 16% de los gastos totales y el consumo combinado de energía térmica es de, aproximadamente, 17 TWh y está destinado principalmente a la necesidad de secar la pasta y el papel (Solar Concentra, Solatom, 2017).

Los principales combustibles utilizados en este sector son: biomasa (aproximadamente, 52%), gas (aproximadamente, 36%), y fuel oil (aproximadamente, 4.6%). A pesar de que este sector ha sido

identificado como uno con un gran potencial en diferentes estudios, debido a la disponibilidad de residuos de producción que pueden ser fácilmente valorizados, se estima un potencial de mercado limitado para la energía solar. Adicionalmente, este sector cuenta con una sólida tradición en proyectos de cogeneración.

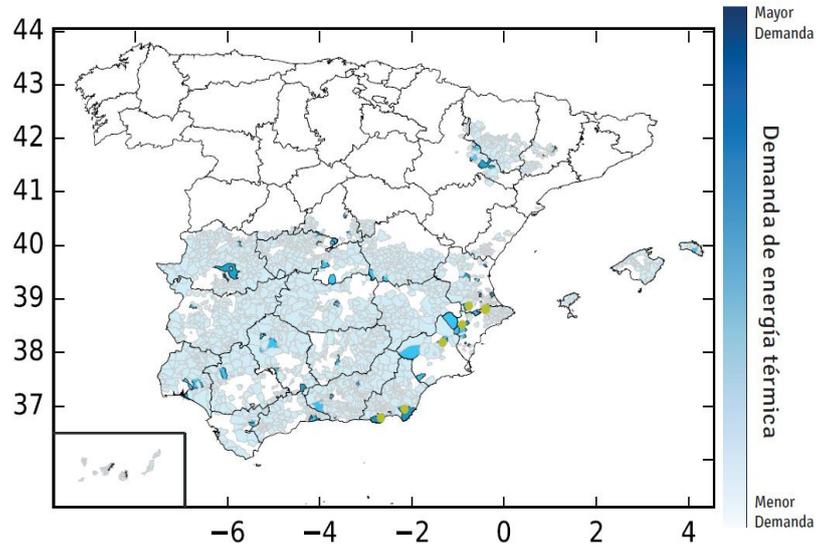


Figura 15. Demanda de energía térmica en el sector papelero (Solar Concentra, Solatom, 2017).

### 3.3.2. Sector Alimentación y Bebidas

El sector de procesamiento de alimentos y bebidas ofrece numerosas oportunidades para la integración de energía solar, y es el ámbito con mayor cantidad de proyectos solares en funcionamiento que, además, exhibe un crecimiento constante. Desde el punto de vista geográfico, la demanda está ampliamente dispersa, con una notable demanda en municipios que no cuentan con acceso a la red de gas. De acuerdo al estudio, es el sector que presenta mayor potencial inicialmente y se anticipa que albergue el mayor número de empresas con un alto potencial de adopción de tecnologías solares.

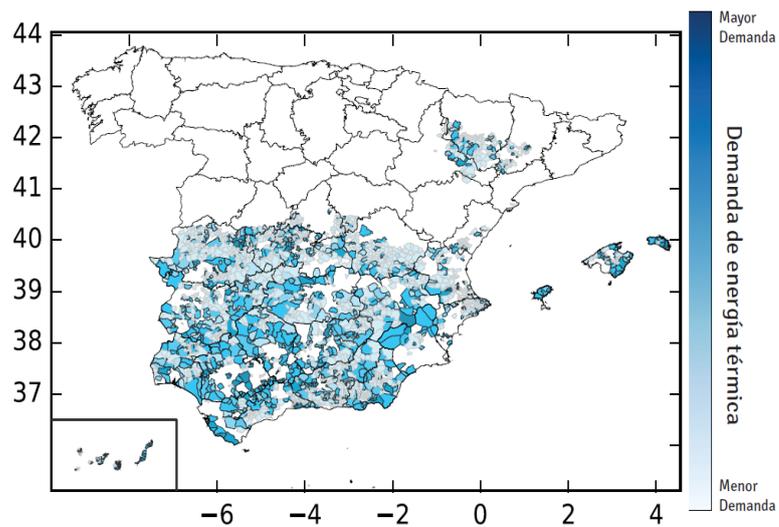


Figura 16. Demanda de energía térmica en el sector Alimentación y Bebidas (Solar Concentra, Solatom, 2017).

### 3.3.3. Sector textil

El sector textil abarca en España un amplio conjunto de empresas (aproximadamente, 15.000), con un consumo total de energía térmica que se aproxima a los 2,7 TWh (Solar Concentra, Solatom, 2017). Principalmente, esta energía se utiliza en los procesos de secado y tintado de tejidos e hilos. Geográficamente, la demanda se concentra especialmente en las áreas de Valencia, Alicante y Barcelona. No obstante, es preciso indicar que la mayoría de los municipios con una demanda considerable tienen acceso a la red de gas.

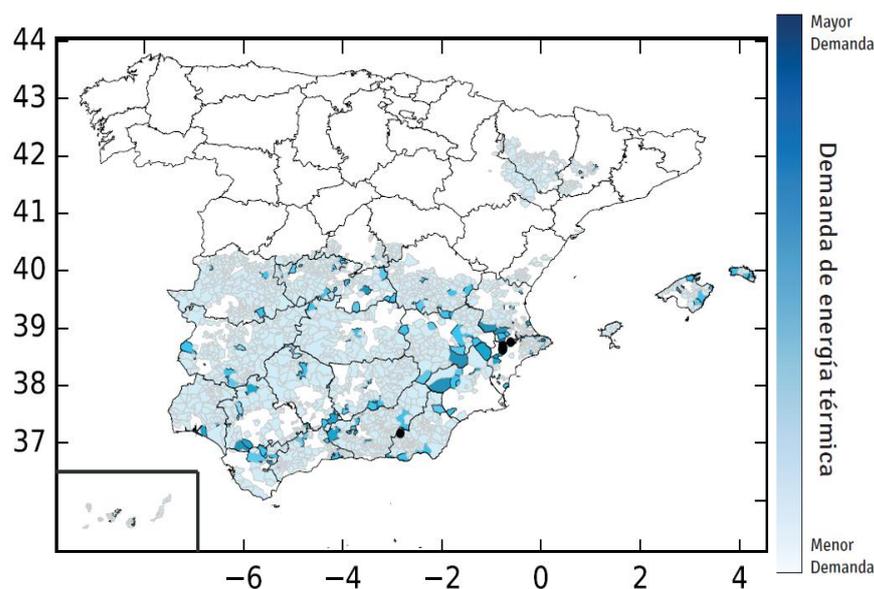


Figura 17. Demanda de energía térmica en el sector Textil (Solar Concentra, Solatom, 2017).

### 3.3.4. Sector agricultura y ganadería

Este sector presenta un consumo significativo de petróleo y sus derivados, de, aproximadamente el 70% (Solar Concentra, Solatom, 2017). Esta alta demanda se debe principalmente a la necesidad de combustible para la maquinaria utilizada en los procesos industriales. El resto del consumo térmico se destina principalmente a calefacción. Este sector tiene un acceso limitado a gas por tubería, ya que las industrias están muy dispersas, con excepción de los invernaderos, y se concentra principalmente en las regiones de Andalucía y Murcia.

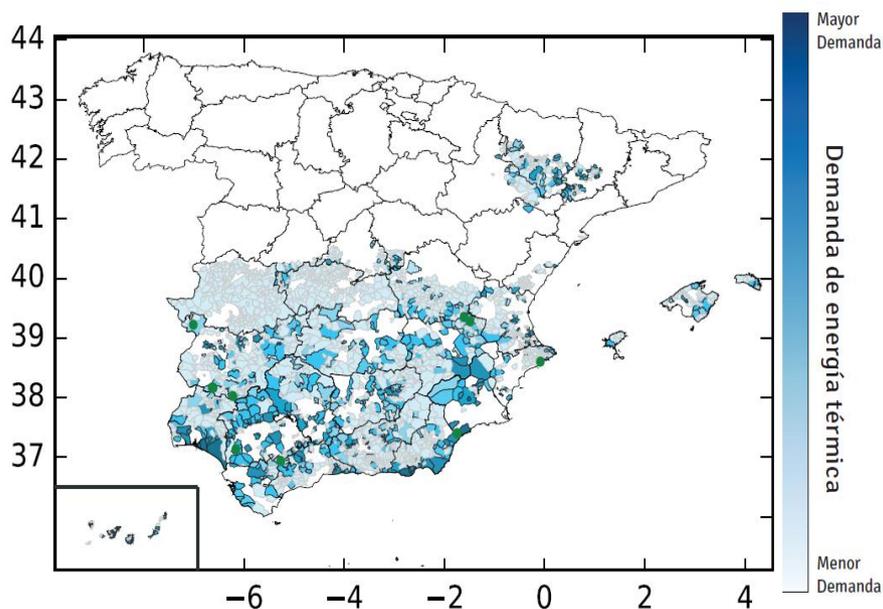


Figura 18. Demanda de energía térmica en el sector de la Agricultura y Ganadería (Solar Concentra, Solatom, 2017).

### 3.3.5. Sector de lavandería industrial

El sector de lavandería industrial abarca aquellas empresas que brindan servicios principalmente a hoteles, pensiones y hospitales. En este ámbito, la demanda de energía térmica constituye, aproximadamente el 72% del total. Los procesos más demandantes de energía térmica son, en orden de prioridad, el calandrado y el lavado. En el calandrado de las prendas, el uso de aceite térmico aún es común, especialmente en grandes lavanderías, mientras que, en las más pequeñas, el calandrado se realiza principalmente con vapor. En cuanto al proceso de lavado, se emplea vapor de manera constante, aunque la tendencia del sector es trabajar con agua caliente a baja temperatura. Las áreas de mayor consumo se encuentran en municipios costeros con una alta concentración hotelera, por lo que entre las regiones con mayor potencial destacan las Islas Canarias y la costa mediterránea.

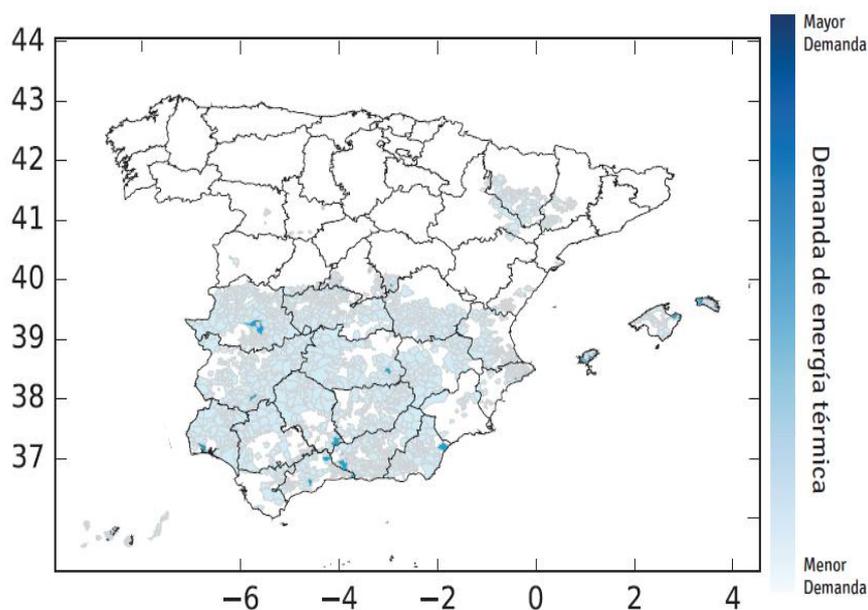


Figura 19. Demanda de energía térmica en el sector de lavanderías (Solar Concentra, Solatom, 2017).

### 3.3.6. Sector Minero

El sector se clasifica en dos amplios grupos: minerales metálicos y no metálicos. En ambos casos, el número de industrias es más limitado que en los sectores anteriores. Los principales procesos térmicos en las minas de materiales metálicos incluyen el atemperamiento del electrolito, mientras que en los materiales no metálicos, destaca el secado del material (con hornos autoclave, como en el caso del yeso). Una ventaja notable de este sector es la disponibilidad de espacio para la instalación de sistemas solares. Sin embargo, presenta desafíos, como la disponibilidad de gas para alimentar grandes hornos y la situación económica de algunas empresas.

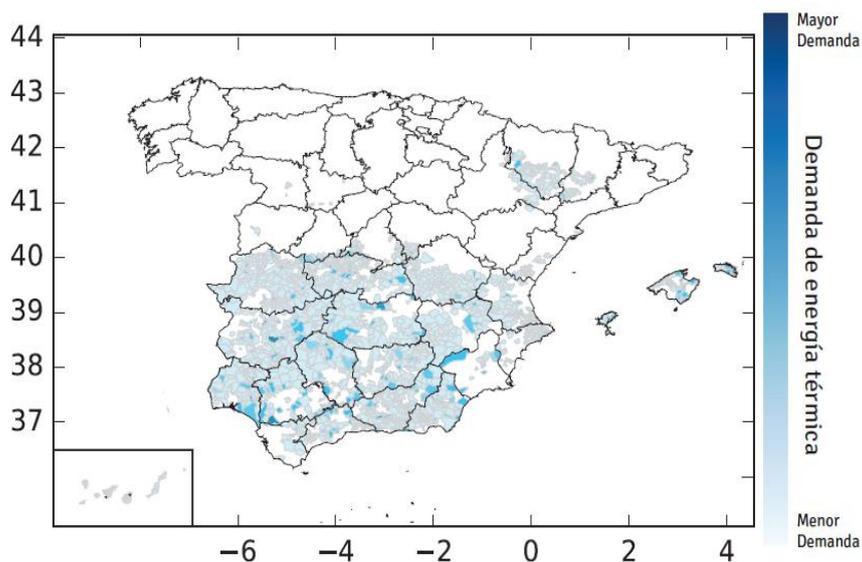


Figura 20. Demanda de energía térmica en el sector Minero (Solar Concentra, Solatom, 2017).

### 3.3.7. Sector del tratamiento de aguas residuales

Este sector concentra las plantas de tratamiento de aguas residuales, conocidas como EDAR (Estación depuradora de aguas residuales). El proceso térmico con mayor potencial para la integración de sistemas solares de concentración es el secado de lodos residuales. Este proceso implica la deshidratación de los lodos generados durante el tratamiento de aguas residuales, lo que a su vez permite un ahorro en la gestión posterior de estos residuos. La capacidad de alcanzar altas temperaturas mediante la circulación de aceite térmico facilita la integración de la energía solar en sistemas convencionales como los secadores de cinta o los secadores directos de convección. Una ventaja significativa de este sector es la disponibilidad de amplio espacio para la ubicación de sistemas solares. La distribución de las plantas de tratamiento de agua es bastante uniforme, sin grandes disparidades entre municipios, como se puede observar en la figura.

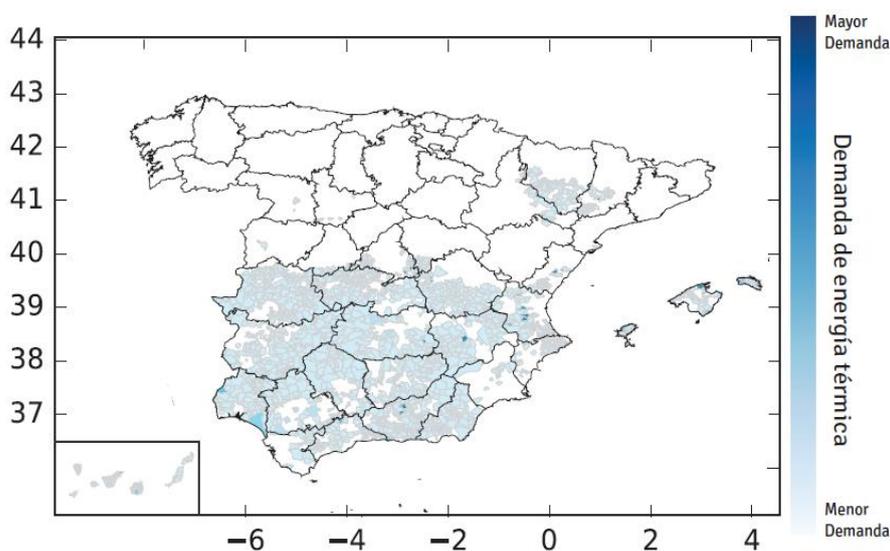


Figura 21. Demanda de energía térmica en el sector del tratamiento de aguas residuales (Solar Concentra, Solatom, 2017).

### 3.3.8. Sector químico

La distribución del sector químico en España muestra una uniformidad notable, como se ilustra en la Figura 22. Sin embargo, la presencia de grandes centros de producción se produce en municipios con demandas térmicas relativas significativas. En la industria química, el consumo térmico generalmente ocupa un papel secundario en comparación con el consumo eléctrico. Según la actividad específica, el consumo térmico suele representar entre el 40% y el 60% del consumo eléctrico total. La energía térmica se emplea en una variedad de subprocesos, con especial énfasis en el calentamiento de reactores durante la fabricación de aditivos químicos y en la producción de termoplásticos.

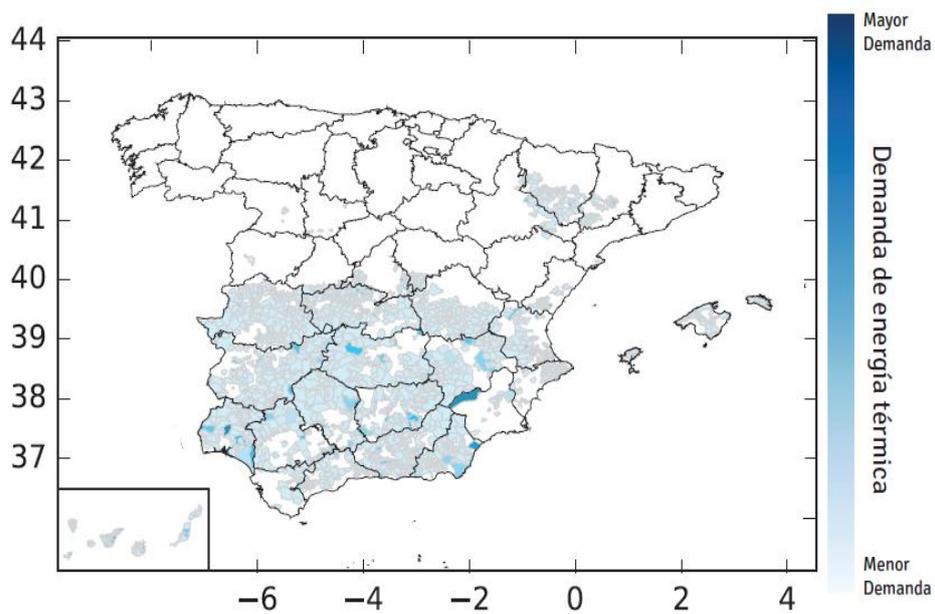


Figura 22. Demanda de energía térmica en el sector químico (Solar Concentra, Solatom, 2017).



# 4. Consumo de energía térmica y potencial solar de concentración

## 4.1. Análisis de la demanda de energía térmica

### 4.1.1. Contexto Internacional

La demanda de energía térmica viene determinada por las necesidades de calor para diversos usos industriales, residenciales y comerciales. La tecnología solar de concentración permite satisfacer esta demanda al aprovechar la energía del sol para generar calor a altas temperaturas. Como se ha indicado previamente en esta guía, esta tecnología ofrece por lo tanto una solución sostenible y renovable para satisfacer la creciente demanda de energía térmica, particularmente en procesos industriales de media y alta temperatura, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles que se han utilizado tradicionalmente en estos procesos y contribuyendo a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Según el informe de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) de 2023, el calor representó casi la mitad del consumo global de energía final. Entre 2017 y 2022, el consumo anual de calor aumentó globalmente un 6%. A pesar de este crecimiento, la energía renovable, excluyendo la biomasa tradicional, solo cubrió la mitad de este incremento, elevando su participación en el consumo global térmico al 13% en 2022 (AIE, Renewables 2023 - Analysis and forecast to 2028, 2024).

El suministro de calor sigue dependiendo en gran medida, por lo tanto, de combustibles fósiles. Según las proyecciones de la AIE, sin una reducción significativa en la utilización de combustibles fósiles, será complicado limitar el calentamiento global a 1,5°C durante el período 2023-2028. Se espera que el consumo de calor renovable aumente en más del 40% (+12 EJ) durante este período, pero este mayor consumo de calor renovable cubrirá solo el 70% del aumento proyectado en la demanda total de calor.

Según el informe del Estado Global de las Energías Renovables de la organización REN21<sup>1</sup> (Figura 23), los usos de energía térmica en 2018, que abarcan desde el calentamiento de agua y la calefacción hasta la refrigeración de espacios y el calor para procesos industriales, representaron más de la mitad (51%) del consumo total de energía final a nivel mundial. De esta cifra, aproximadamente el 10,2% provino de fuentes renovables.

---

<sup>1</sup> REN21 (por sus siglas en inglés, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century) es una organización global que promueve el desarrollo y la adopción de políticas para las energías renovables.

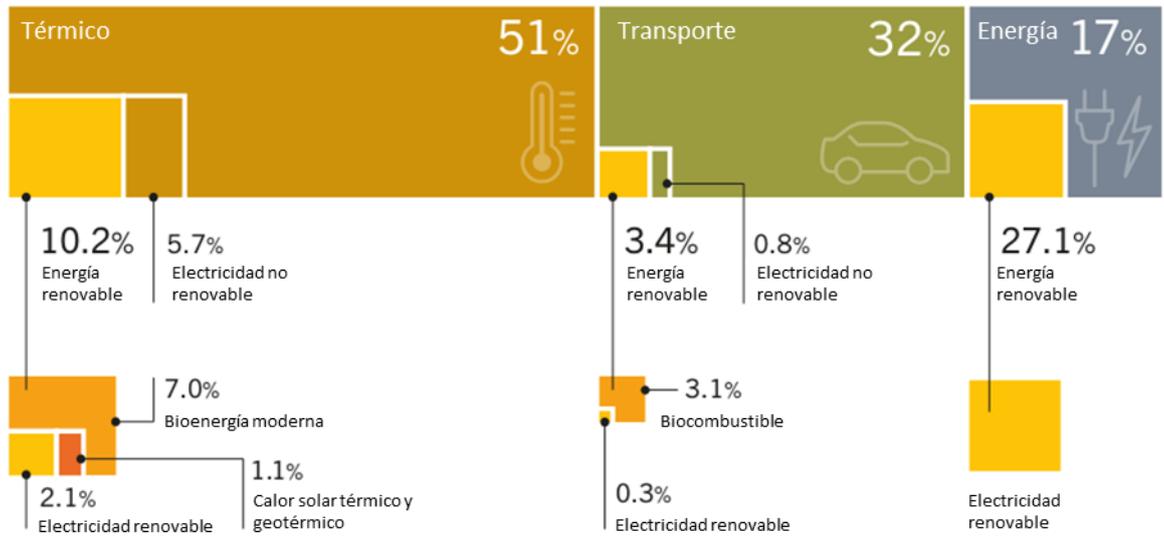


Figura 23. Consumo de energía renovable en el total del consumo final de energía, desglosado por uso final, en 2018 (REN21, Renewable 2023 Global Status Report, Global Overview, 2023).

Además, según los datos de la AIE citados en el proyecto “Solar payback”, el 32% del consumo global de energía se utiliza en la industria, y el 74% de este consumo energético industrial se destina a la producción de calor. Particularmente, de este consumo, el 70% corresponde a calor de alta y media temperatura.

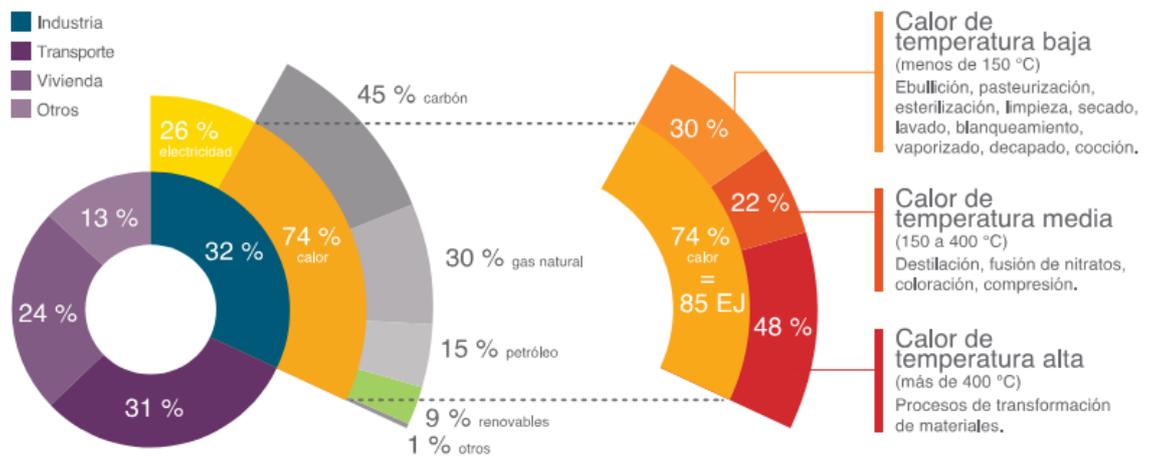


Figura 24. Demanda de calor de procesos en la industria mundial (AIE, El calor solar industrial, Solar Payback, 2016).

#### 4.1.2. Contexto europeo y nacional

La Unión Europea ha establecido un marco estratégico integral para fomentar y desarrollar las energías renovables, incluida la energía solar térmica de concentración. Las medidas, directivas y estrategias adoptadas para alcanzar este objetivo se detallan en el capítulo 5.3.1. Adicionalmente, la UE ha fijado como objetivo aumentar la proporción de energía renovable en el sector de la calefacción y refrigeración.

La Directiva (UE) 2023/2413 sobre fuentes de energía renovables, que entró en vigor en noviembre de 2023, exige a los países miembros que aumenten su cuota media anual de energías renovables en calefacción y refrigeración en, al menos, un 0,8% anual de 2021 a 2025 y un 1,1% anual entre 2026 y 2030 (Ciucci, 2024).

Según Eurostat, en 2022, la cuota media de energías renovables en calefacción y refrigeración en la UE alcanzó el 24,8%, lo que representa un aumento de 1,8 puntos porcentuales con respecto a 2021 (Eurostat, 2024). Sin embargo, este porcentaje debe seguir aumentando para alcanzar los objetivos establecidos. A nivel nacional, España se sitúa en un 20,04%, casi 5 puntos por debajo del promedio europeo. Aunque estos porcentajes incluyen tanto altas como bajas temperaturas y otras tecnologías de energías renovables en calefacción y refrigeración, son valores representativos que subrayan la necesidad de aumentar la demanda de energía renovable en este sector.

La energía solar térmica de concentración representa una gran oportunidad para contribuir a este incremento, ofreciendo una solución eficiente y sostenible para la calefacción y la refrigeración.

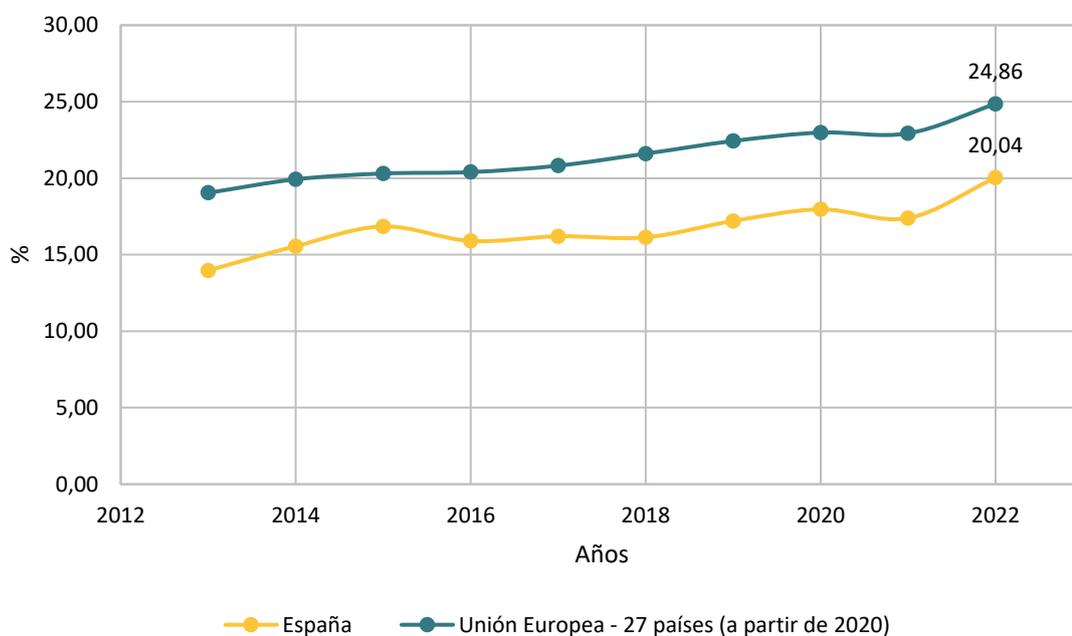


Figura 25. Fuentes de energía renovable en calefacción y refrigeración (Eurostat, 2024).

#### 4.1.3. Herramienta para la evaluación de la demanda térmica

Complementariamente, es preciso señalar que IDAE ha desarrollado un mapa de calor (<https://mapadecolor.idae.es/>) que constituye una herramienta para evaluar la demanda de tecnologías térmicas en España. Este mapa permite identificar las demandas estimadas de calor y frío de consumidores de todos los sectores de actividad, así como las instalaciones que pueden generar calor o frío residual, incluidas las que utilizan energía de fuentes renovables.

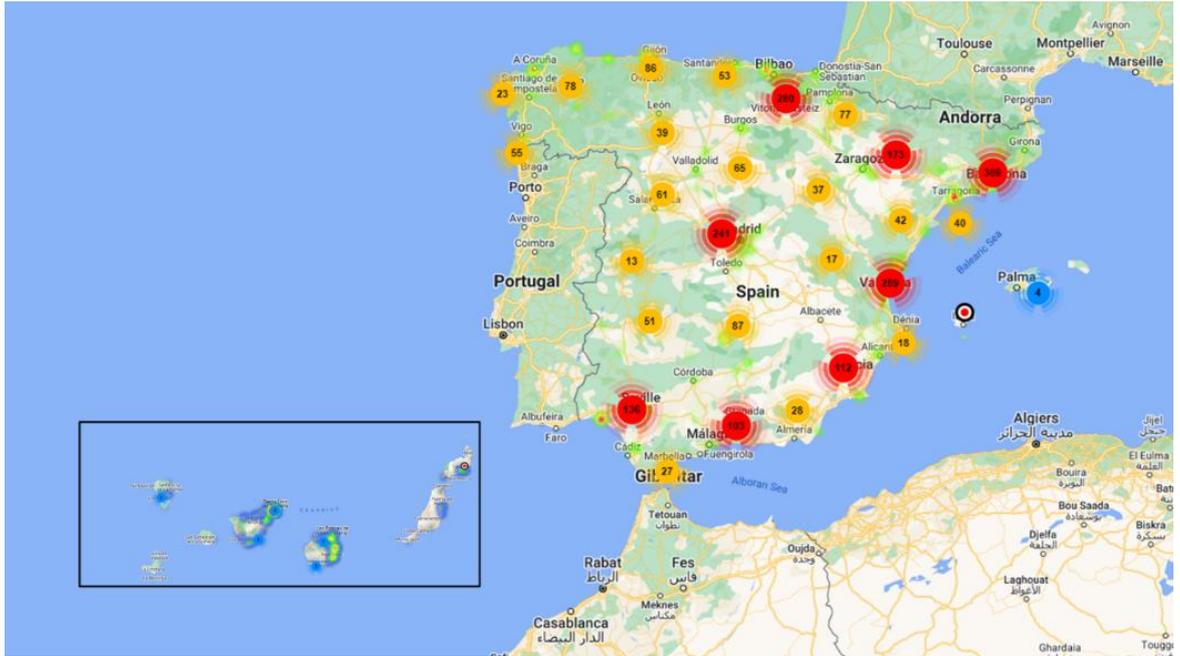


Figura 26. Mapa de calor de España, herramienta desarrollada por IDAE.

Esta herramienta ayuda a identificar zonas con potencial técnico para proyectos de alta demanda térmica, por lo que permite la identificación de áreas donde la energía solar térmica de concentración puede implementarse en España. Al proporcionar información detallada, dimensiona adecuadamente los proyectos para aprovechar los recursos disponibles y obtener beneficios económicos y medioambientales.

#### 4.2. Potencial de la tecnología solar de concentración

La disponibilidad de un recurso solar elevado optimiza la producción de un sistema de concentración solar para generar calor de proceso. Esta proporcionalidad no es, sin embargo, limitante. Una instalación solar térmica de concentración en la industria puede ser viable en emplazamientos con un recurso solar reducido y viceversa, debido a una variedad de otros factores. La mayoría de los municipios españoles disponen de niveles de radiación solar por encima de la media europea.

En consecuencia, España presenta un excelente potencial para la implementación de tecnologías de concentración solar, gracias a su elevada irradiación solar en gran parte del territorio. Los sistemas de concentración solar dependen principalmente de la irradiación directa normal (DNI), pero debido a la falta de datos accesibles con la resolución necesaria, se ha optado por utilizar valores promedio anuales de la irradiación solar global horizontal (GHI). Estos valores, disponibles a través del portal ADRASE<sup>2</sup> del Proyecto CIEMAT, proporcionan una estimación fiable para evaluar el recurso solar disponible.

---

<sup>2</sup> ADRASE (Acceso a Datos de Radiación Solar a Largo Plazo en España): Proyecto de colaboración entre el CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas), la Unión Española Fotovoltaica (UNEF), IRSOLAV y el CETA-Ciemat. Este proyecto tiene como objetivo facilitar el acceso a datos detallados de radiación solar en España.

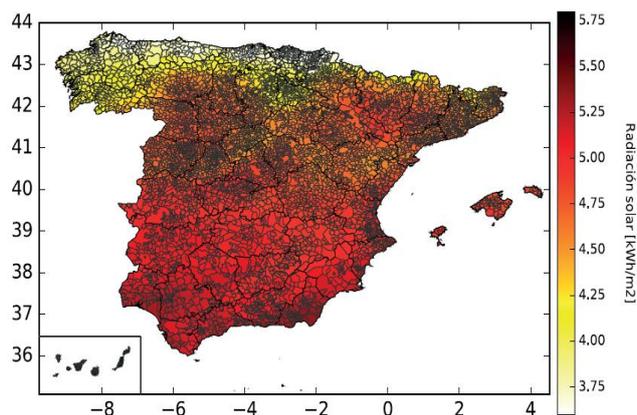


Figura 27. Niveles de GHI en España (Solar Concentra, Solatom, 2017).

Según los datos de la Estadística anual de Consumo Energético en la Industria 2022, publicada por la Secretaría de Estado de Energía del Ministerio para la Transición Ecológica y el Demográfico, el consumo energético industrial en 2022 para las principales industrias que utilizan la producción de calor y frío, calefacción y climatización fue el siguiente:

Industrias	Calor (TJ)		Frío (TJ)	Refrigeración – Calefacción (TJ)	Total (TJ)
	Calor AT <sup>3</sup>	Calor BT <sup>4</sup> - MT <sup>5</sup>			
Fabricación de cemento, cal y yeso	68.971,02	1.549,64	3,86	66,15	70.590,67
Fabricación de papel excepto pasta papelera	6.906,64	13.112,77	140,02	404,92	20.564,35
Fabricación de pasta papelera	523,21	3.913,25	1,83	6,12	4.444,41
Fabricación de productos farmacéuticos	90,85	3.881,93	1.310,77	1.782,58	7.066,13
Fabricación de vidrio y productos de vidrio	11.649,77	417,38	400,78	347,56	12.815,49
Industria de la alimentación	23.802,70	29.760,89	10.745,46	3.188,09	67.497,14
Industria química	38.646,91	19.863,12	7.688,25	2.147,79	68.346,07
Producción de aluminio	3.039,85	5.363,22	10,71	15,92	8.429,70
Siderurgia y fundición	38.840,65	2.324,93	180,41	543,44	41.889,43
<b>Consumo Total de energía</b>					<b>301.643,39</b>

Tabla 2. Consumo energético en la industrial para la producción de calor, producción de frío, calefacción y climatización (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, 2024)

<sup>3</sup> AT, Alta Temperatura.

<sup>4</sup> BT, Baja Temperatura.

<sup>5</sup> MT, Media Temperatura.

Según estos datos, el consumo de calor como fuente de energía para las principales industrias ascendió en 2022 a, aproximadamente, 301.643 TJ. Este consumo, junto con el potencial de las industrias mencionadas en el apartado 3.3 Sectores de mayor potencial, subraya el potencial de la implementación de soluciones de energía solar en estos sectores industriales en España. Complementariamente, la alta irradiación solar de España ofrece una oportunidad significativa para reducir la dependencia de fuentes de energía convencionales y disminuir las emisiones de carbono.

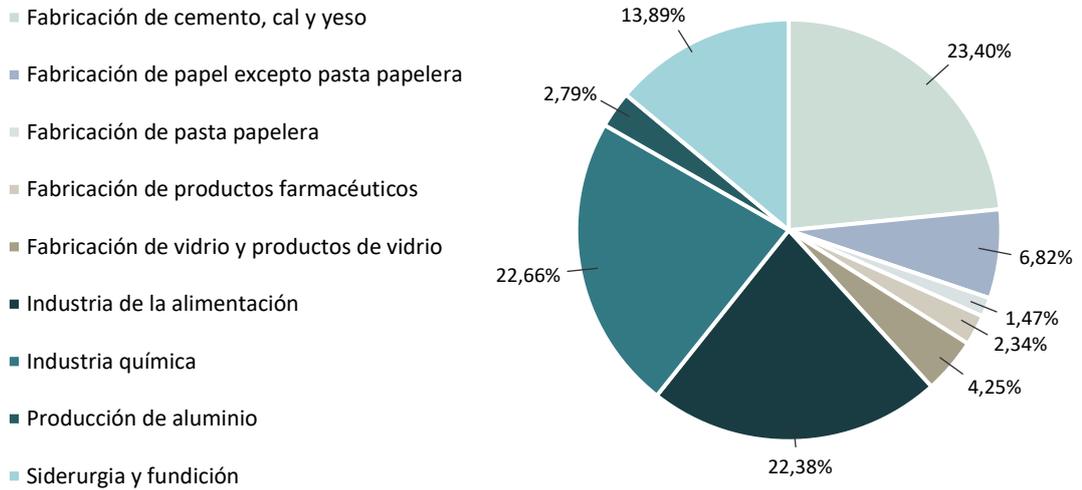


Figura 28. Porcentaje de consumo energético en algunas industrias (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, 2024)

De acuerdo con la Figura 28, se puede observar que, entre las industrias analizadas, la que presenta un mayor consumo de energía térmica es la de fabricación de cemento, cal y yeso, con un 23,40%, seguida por la industria química (22,38%), la industria de alimentación (22,66%) y la siderurgia (13,89%). Estos sectores industriales representan un gran potencial para la implementación de energía solar térmica de concentración, dados los altos requerimientos energéticos de los procesos productivos asociados.





# 5. Análisis del estado actual de la tecnología

## 5.1. Proyectos e instalaciones existentes

La situación actual de las instalaciones solares térmicas de concentración, aplicadas en procesos industriales, revela que, aunque exista un amplio potencial pendiente de explotar, existe ya a la fecha un conjunto significativo de proyectos que suponen experiencias de gran interés para dar a conocer y difundir esta tecnología.

Dada la limitada adopción actual de esta tecnología en España, es necesario ampliar la perspectiva a nivel internacional con objeto de identificar proyectos que puedan servir como modelos, no solo en términos tecnológicos, sino también en relación con la integración con los procesos industriales que pueden apoyarse en la tecnología solar térmica de concentración. Por lo tanto, el análisis abarca el estado actual de desarrollo de proyectos de instalaciones solares térmicas en entornos industriales a nivel comercial, así como proyectos específicos destinados a la demostración, la investigación y el desarrollo de aplicaciones tecnológicas tanto a nivel internacional como a nivel nacional.

### 5.1.1. Contexto internacional

En 2023, el mercado mundial de calor solar para procesos industriales (SHIP) experimentó un notable crecimiento, triplicando la capacidad instalada en comparación con los dos años anteriores. Se reportaron 116 sistemas nuevos con una capacidad total de 94 MW. Este crecimiento fue impulsado principalmente por dos países: los Países Bajos, que lideraron el mercado mundial con 43 nuevos sistemas, y España, que instaló la mayor capacidad de SHIP, con aproximadamente 49 MW (Baerbel Epp, 2024).

El uso de sistemas de concentración como los captadores cilindroparábolicos, Fresnel y captadores de disco concentrador creció significativamente, representando el 43% de la capacidad SHIP recién instalada, comparado con solo el 16% en 2022, según datos de una encuesta realizada por la agencia alemana Solrico y respaldada por el Departamento de recursos naturales del Gobierno de Canadá.

En este sentido, el estudio publicado por Solrico en marzo de 2024, en colaboración con los datos de la base de datos SHIP (Figura 29), revela que actualmente hay, al menos, 1.209 sistemas SHIP en funcionamiento a nivel mundial. Estos sistemas cubren un área total de captadores de 1.359 millones de metros cuadrados y tienen una capacidad combinada de 951 MW. A pesar de las fluctuaciones en el número de instalaciones y la capacidad anual, el mercado de sistemas solares térmicos para procesos industriales ha mostrado una relativa estabilidad. Entre 2017 y 2023, se instalaron aproximadamente 100 nuevos sistemas SHIP cada año, con una capacidad promedio de 1,1 MW cada uno.



Figura 29. Localización de instalaciones solares térmicas en la industria (AIE SHC Task 49, 2015).

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Total al final del año 2023
Número de sistemas SHIP puestos en servicio	107	99	89	85	73	116	116	Al menos 1.209
Área de captadores recién instalada (m <sup>2</sup> )	219.280	55.583	132.316	51.866	43.664	43.664	134.990	1.359 millones
Capacidad solar térmica recién instalada (MW)	153	39	251	93	36	31	94	951

Tabla 3. Desarrollo anual global del mercado SHIP entre 2017 y 2023 MW (Baerbel Epp, 2024).

Las fluctuaciones significativas en la capacidad añadida del mercado SHIP se deben principalmente a las grandes adiciones de capacidad realizadas en Omán y China en ciertos años específicos. Estos países realizaron inversiones significativas en sistemas SHIP durante determinados ejercicios del período, lo que tuvo un impacto considerable en las cifras globales de capacidad instalada.

Estos datos reflejan cómo las decisiones de política energética y las inversiones en infraestructura pueden tener un impacto significativo en el crecimiento y desarrollo del mercado global de sistemas de calor solar para aplicaciones industriales (SHIP).

### 5.1.2. Contexto nacional

En España, la implementación de proyectos SHIP está adquiriendo una mayor presencia dentro de un proceso global de despliegue de las energías renovables. Estos proyectos utilizan la energía solar térmica de concentración para generar el calor que es posteriormente utilizado en procesos industriales. En este contexto, la base de datos recopilada por el RESSPI (Registro de Energía Solar para Procesos Industriales) y analizada por Solar Concentra, proporciona una visión detallada de la evolución y el estado actual de estos proyectos.

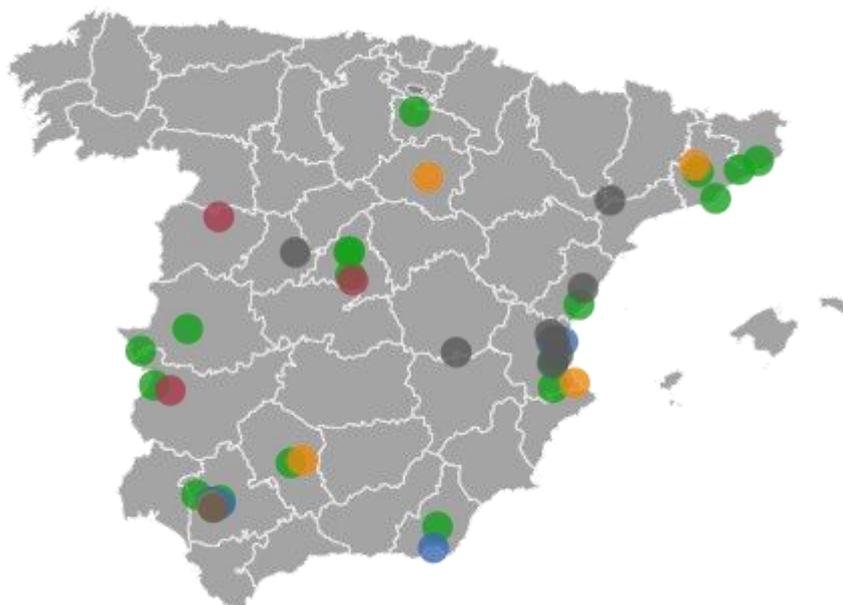


Figura 30. Localización de proyectos SHIP de concentración (RESSPI, Base de datos de proyectos de concentración SHIP en España, 2022)

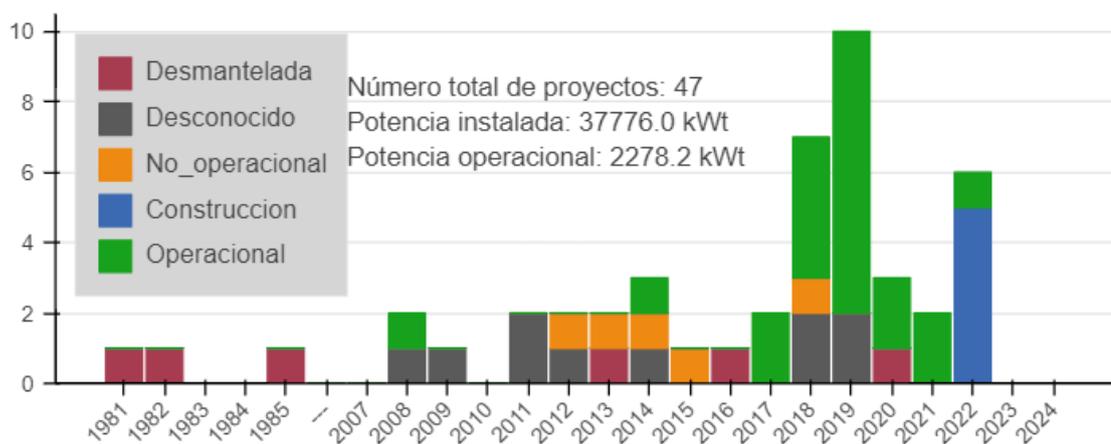


Figura 31. Evolución de proyectos SHIP de concentración (RESSPI, Base de datos de proyectos de concentración SHIP en España, 2022).

En la Figura 31 se muestra gráficamente el contenido de la base de datos de proyectos de concentración solar, recopilada por Solatom en colaboración con la plataforma Solar Concentra. Los datos indican que, hasta el año 2022, se han registrado un total de 47 proyectos de

concentración solar, de los cuales 21 se encuentran activos. Estos proyectos se traducen en una potencia actual instalada de 2.278 kW y una superficie de captación de 4.395 m<sup>2</sup>.

En la gráfica anterior se observa que el 41% corresponde a proyectos históricos totales, mientras que un 11% está en fase de construcción. Adicionalmente, se identifican un 13% de proyectos desmantelados, un 11% pausados y un 21% en estado desconocido.

### 5.1.3. Redes de calor

La energía solar térmica de concentración no solo ha demostrado su eficacia en proyectos SHIP a nivel nacional e internacional, proporcionando calor de proceso para diversas industrias, sino que también juega un papel clave en el desarrollo de redes de calor y frío urbanas y en la creación de comunidades energéticas.

El “solar district heating” (SDH) es un sistema que emplea energía solar térmica de concentración para alimentar redes de calefacción urbana. A través de grandes campos de captadores solares, se captura la energía solar y se transfiere a un fluido que circula por la red de calefacción, proporcionando calor a hogares e industrias. Esta tecnología contribuye a la descarbonización al reducir la dependencia de combustibles fósiles, y gracias a los avances en almacenamiento térmico, es posible almacenar calor en verano para utilizarlo en invierno, cubriendo una parte importante de la demanda durante los meses fríos (AEI SHC Task 68, 2024).

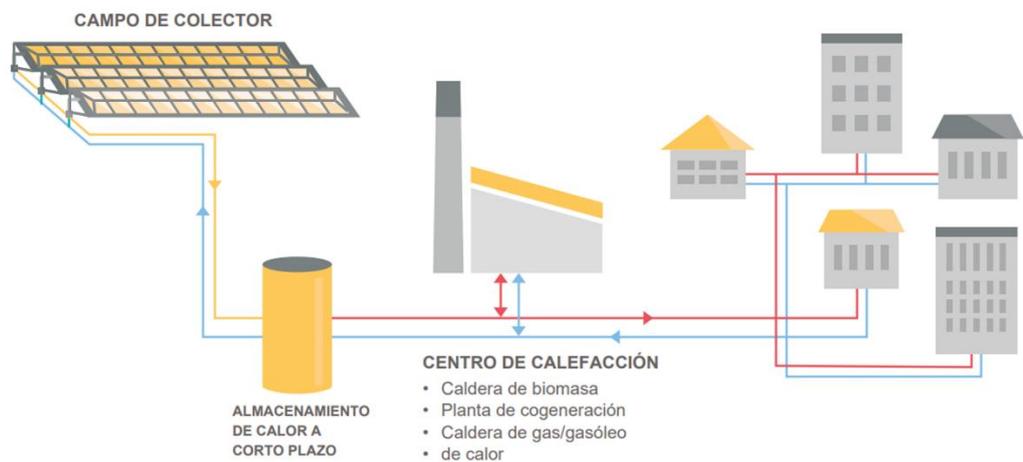


Figura 32. Esquema y cifras clave del sistema SDH de Salaspils, Letonia Salaspils, Latvia (AEI SHC Task 68, 2024).

Según la Comisión Europea, la calefacción y la refrigeración representan la mitad del consumo energético de la UE, y una parte importante de esta demanda se satisface mediante sistemas de calefacción centralizados como los sistemas SDH. En Europa, la integración de plantas solares térmicas en redes urbanas ha demostrado ser viable, especialmente en países como Dinamarca, Suecia y Alemania. La tecnología SDH puede llegar a satisfacer hasta un 60% de la demanda de calor anual cuando se utiliza almacenamiento estacional, lo que la hace especialmente útil en climas fríos (AEI SHC Task 68, 2024).

Entre los proyectos de gran envergadura destaca un campo de pruebas en Graz, Austria, inaugurado en 2008, donde se han evaluado 7 tecnologías solares térmicas bajo condiciones reales. Este proyecto es notable por la integración de una variedad de tecnologías como grandes captadores de placa plana, tubos de vacío y cilindroparabólicos, cada una aplicada en diferentes etapas de desarrollo. La evaluación de estos proyectos ha puesto de manifiesto un rendimiento destacado y necesidades moderadas de mantenimiento. La experiencia a largo plazo en la operación de estos sistemas en entornos reales ha demostrado ser altamente eficiente, destacando su capacidad para satisfacer las demandas de calor de manera efectiva y reducir los costes operativos (SHC & Institute European Copper, 2019).

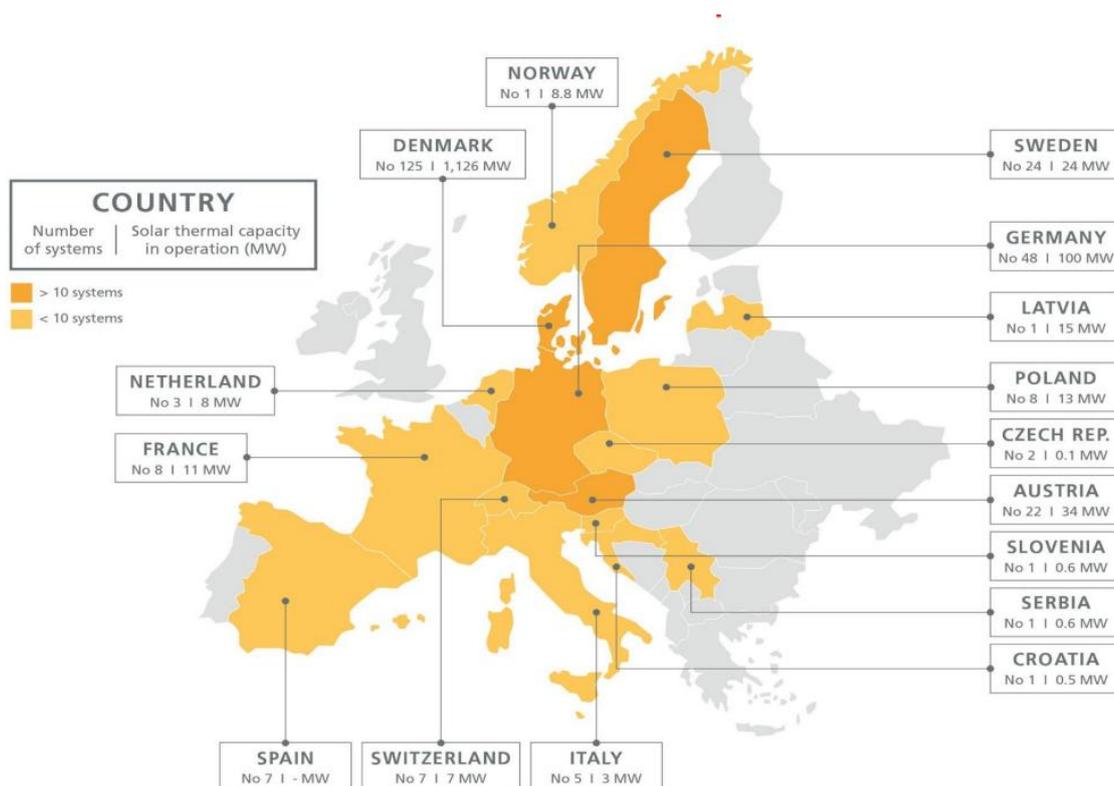


Figura 33. Pueblos y ciudades europeas que han adoptado los sistemas SDH (AEI SHC Task 68, 2024).

En España, las redes industriales de calor alimentadas por energía solar térmica de concentración (CST) representan un recurso aún sin explotar en la mayoría de los polígonos industriales, donde hasta ahora han dominado tecnologías como las calderas de biomasa y los sistemas de cogeneración. Sin embargo, la implementación de redes de calor basadas en CST tiene un potencial transformador enorme. No solo ofrecen una eficiencia energética superior, sino que también permiten una escalabilidad flexible que puede adaptarse a las crecientes necesidades industriales. Esta tecnología emergente no solo es una solución más sostenible, sino que podría redefinir el panorama energético industrial del país, impulsando una transición hacia un futuro más verde y eficiente.

Un ejemplo destacado de integración de CST en redes de calor en el contexto internacional es la planta híbrida de Brønderslev Forsyning en Dinamarca. Este sistema combina tecnologías avanzadas de biomasa y energía solar para proporcionar electricidad y calefacción. Con el uso de calderas de biomasa y captadores solares de concentración, la planta genera tanto electricidad

como calor, complementada por una turbina de ciclo orgánico de Rankine (ORC). La hibridación permite a la planta adaptarse a la expansión de las necesidades energéticas.

En España, el polígono industrial de Villalonquéjar en Burgos y la Ciudad Agroalimentaria de Tudela son ejemplos de redes de calor que integran múltiples fuentes renovables, como la biomasa y la trigeneración, para mejorar la eficiencia energética y reducir la dependencia de combustibles fósiles. La hibridación es clave en estos proyectos, ya que permite una cobertura energética constante y adaptada a la demanda.

## 5.2. Desarrollo tecnológico

El desarrollo tecnológico en la energía solar térmica de concentración es fundamental para que la industria logre sus objetivos de descarbonización. La innovación en esta área es clave para optimizar la eficiencia, reducir costes y ampliar la aplicación de esta tecnología en diversos sectores industriales, promoviendo un futuro energético más limpio y sostenible.

La Unión Europea, a través del programa “Horizonte 2020”, ha asignado casi 6,000 millones de EUR a la investigación en energía no nuclear como parte de su reto social “energía segura, limpia y eficiente”. Este esfuerzo respalda la transición hacia un sistema energético fiable, sostenible y competitivo, sino que también impulsa la colaboración público-privada a través de iniciativas como la Agencia Empresarial Innovadora (AEI) y el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), que facilitan misiones específicas y proyectos innovadores. Además, las comunidades autónomas, como la Comunidad de Madrid, contribuyen significativamente mediante programas de actividades de I+D que conectan grupos de investigación en tecnologías avanzadas. Estas sinergias son fundamentales para alcanzar los objetivos energéticos y de sostenibilidad de Europa.

A continuación, se detallan varios puntos en los que se ha invertido en I+D destacados en este ámbito:

- **Investigación en Eficiencia y Rendimiento:** Se están realizando investigaciones centradas en mejorar la eficiencia de los sistemas de CSP mediante el desarrollo de nuevos materiales y tecnologías de captura de energía solar. Esto incluye la calibración avanzada de espejos y receptores, así como el diseño de sistemas que maximicen la captación de energía. En este ámbito, destacan el proyecto CAPTURE, que se enfoca en la producción en serie de espejos eficientes y receptores solares avanzados.
- **Desarrollo de Sistemas de Almacenamiento:** La inversión en tecnologías de almacenamiento térmico es fundamental para aumentar la capacidad de las plantas de CSP. Se exploran métodos que permiten el almacenamiento de calor a altas temperaturas utilizando diferentes materiales, como partículas fluidizadas, para mejorar la eficiencia energética. Proyectos como NEXT-CSP han sido pioneros en la investigación de nuevas soluciones de almacenamiento y transferencia de calor que optimizan el rendimiento.
- **Optimización de Procesos Industriales:** Las investigaciones se enfocan en la integración de la energía solar térmica en procesos industriales, desarrollando sistemas que permitan el uso del calor solar para aplicaciones como la calcinación de minerales y procesos de calentamiento en la industria.
- **Sostenibilidad y Eficiencia Hídrica:** Se está invirtiendo en la reducción del consumo de agua en las instalaciones de CSP, implementando tecnologías innovadoras que minimizan la

necesidad de agua para procesos de enfriamiento y limpieza, especialmente en regiones áridas.

- **Colaboración Público-Privada:** Los esfuerzos de investigación están respaldados por iniciativas de colaboración entre el sector público y privado, lo que incluye programas de I+D que conectan grupos de investigación y empresas para fomentar el desarrollo de tecnologías avanzadas.
- **Marco Regulatorio y Políticas Energéticas:** Las investigaciones también se centran en el análisis de políticas y marcos regulatorios que faciliten la adopción y comercialización de la tecnología de CSP, promoviendo subastas de electricidad renovable y otros mecanismos de apoyo. MUSTEC han abordado directamente estos aspectos, contribuyendo a la formulación de políticas más efectivas para el sector.

El avance de la investigación y el desarrollo en la energía solar térmica de concentración es un elemento clave para la transición hacia un sistema energético más sostenible. La colaboración entre entidades públicas y privadas, junto con un marco regulatorio favorable, contribuirá a maximizar el potencial de esta tecnología.

### 5.3. Impacto del sector en el marco estratégico actual

#### 5.3.1. Contexto europeo

La Unión Europea (UE) ha establecido un marco estratégico completo para impulsar y desarrollar las energías renovables, entre ellas, la energía solar térmica de concentración. Este marco incluye una serie de directivas y estrategias diseñadas para alcanzar ambiciosos objetivos en cuanto a sostenibilidad energética y reducción de emisiones de carbono.

##### 5.3.1.1. Pacto verde europeo (*European Green Deal*)

La introducción del Pacto Verde Europeo en diciembre de 2019 marcó un hito destacado en la agenda política de la Unión Europea (UE), fijando una hoja de ruta para hacer de Europa el primer continente climáticamente neutro en el año 2050 (Consejo Europeo de la Unión Europea, Pacto Verde Europeo, 2024). Este pacto tiene por objeto no solo afrontar el reto del cambio climático, sino también proteger la biodiversidad, luchar contra la contaminación y promover políticas que impulsen la economía circular y la competitividad industrial.

Desde la perspectiva de la energía solar térmica de concentración, el Pacto Verde Europeo representa una oportunidad significativa para impulsar su desarrollo y adopción en toda la Unión Europea, dado que esta energía se alinea estrechamente con los objetivos de descarbonización y sostenibilidad del Pacto Verde.

El Pacto Verde Europeo ha catalizado avances significativos en la implementación de medidas clave en la Unión Europea, destacando, entre otras, las que se indican a continuación.

##### 5.3.1.1.1. REPowerEU

Los desafíos internacionales recientes, como la pandemia del COVID-19 y la guerra en Ucrania, han motivado que la Comisión Europea reoriente alguna de las políticas clave para la Unión. En este contexto, en mayo de 2022 se puso en marcha el plan REPowerEU, con el objetivo de poner fin a la

dependencia europea de los combustibles fósiles con origen en Rusia. Este plan ofrece un marco integral para acelerar la adopción de energías renovables, mejorar la eficiencia energética y promover la innovación en el sector energético.

Dentro del marco del Plan REPowerEU hay diferentes medidas para acelerar la transición energética, sin embargo, destaca el objetivo de acelerar el despliegue de las energías renovables aumentando el objetivo principal para 2030 del 40% al 45%, la modificación de la Directiva sobre fuentes de energía renovables para reconocerlas como de interés público superior y sustituir rápidamente los combustibles fósiles. En este sentido, la incorporación de instalaciones solares térmicas de concentración en el sector industrial permite una rápida sustitución del consumo de combustibles fósiles sin tener que alterar significativamente los procesos ni detenerlos.

#### 5.3.1.1.2. Fit for 55

Por otro lado, la Comisión Europea presentó en 2020, en línea con el Pacto Verde Europeo, el programa “Fit for 55” donde se recogen las iniciativas y planes revisados de la Comisión con el objetivo de poder llegar a la reducción neta del 55% de emisiones de efecto invernadero para el 2030.

Entre las medidas más relevantes, que afectan a la energía solar térmica de concentración encontramos la revisión del Directiva (UE) 2023/2413 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de octubre de 2023, conocida como la Directiva sobre Energías Renovables (RED III), cuya última actualización, del 20 de noviembre de 2023, establece un marco común para la promoción de la energía procedente de fuentes renovables en toda la Unión Europea.

Conforme a la actualización de esta directiva, los Estados miembros de la Unión Europea deben velar conjuntamente por aumentar el consumo final de energía procedente de fuentes renovables del 32% al 42,5% para el año 2030 (Consejo Europeo de la Unión Europea, Objetivo 55: cómo tiene previsto potenciar la UE la energía renovable, 2024).

La RED III fomenta el desarrollo de tecnologías renovables innovadoras, incluyendo la energía solar térmica de concentración, y facilita su integración en el mercado energético europeo. Además, impone a los Estados miembros la obligación de elaborar planes nacionales integrados de energía y clima, los cuales deben detallar cómo se alcanzarán los objetivos establecidos.

Adicionalmente a la mitigación del cambio climático, la UE también se propone impulsar la creación de empleo y el crecimiento económico a través de la transición hacia un modelo energético más sostenible. La expansión de las energías renovables, incluida la energía solar térmica de concentración y específicamente en el ámbito del calor de proceso, genera oportunidades de empleo en sectores como la construcción, la ingeniería, la fabricación y la investigación y desarrollo. Al mismo tiempo, el desarrollo de tecnologías renovables contribuye a fortalecer la competitividad de la industria europea en un mercado global cada vez más orientado hacia la sostenibilidad.

En el artículo 23 de la citada Directiva se especifica la necesidad de incrementar el uso de energías renovables el sector de la calefacción y refrigeración con particular énfasis en la energía térmica, que incluye la energía solar térmica de concentración.

Complementariamente, el crecimiento en energías renovables térmicas, según lo establecido en el artículo 23 de la Directiva, implica un incremento anual mínimo en el uso de estas energías. En el período de 2021 a 2025, este incremento mínimo es de 0,8% de media anual, y para el período de 2026 a 2030, se eleva a al menos 1,1% de media anual. Este objetivo de crecimiento es esencial para impulsar la adopción y expansión de tecnologías como la energía solar térmica de concentración en el sector de la calefacción y refrigeración.

### 5.3.2. Contexto nacional

En el contexto europeo, España, como miembro de la Unión Europea, debe adoptar las medidas establecidas por la Comisión Europea para alcanzar los objetivos climáticos y de transición energética. En este sentido, se describen a continuación algunas de las principales referencias estratégicas a nivel español, alineadas con las iniciativas europeas anteriormente indicadas, particularmente en lo relativo a la descarbonización de los usos térmicos.

#### 5.3.2.1. Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030

Tras la última revisión de la Directiva de Eficiencia Energética de la UE, en junio de 2023 el gobierno español presentó la actualización del PNIEC para el periodo 2023-2030, que ha sido formalmente aprobada mediante el Real Decreto 986/2024, de 24 de septiembre de 2024.

El PNIEC define los objetivos de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, de penetración de energías renovables y de eficiencia energética. Para conseguirlos, presenta una hoja de ruta para la próxima década. Este plan estratégico establece las directrices y objetivos para la descarbonización, eficiencia energética, seguridad energética, mercado interior de la energía, e investigación, innovación y competitividad en el sector energético.

El PNIEC establece un incremento anual de energías renovables en la industria del 2,14 % para el periodo 2021-2025 y del 2,97 % entre 2026-2030, superando el 1,1 % previsto en la versión anterior. En este contexto, la energía solar térmica de concentración puede desempeñar un papel decisivo para alcanzar estos objetivos de crecimiento, especialmente en procesos industriales de media y alta temperatura, donde otras alternativas de descarbonización, como la electrificación, no son viables.

Según lo indicado en el PNIEC, España tiene un objetivo en 2030 de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de un 32% respecto a 1990.

En el sector industrial, se prevé una disminución del 53% hasta 2030 en las emisiones de proceso en comparación con los niveles de 2005. Esto se logrará mediante la mejora de la eficiencia energética y la electrificación de procesos, lo que reducirá las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuirá a la descarbonización de la industria.

Proyección de emisiones en el Escenario PNIEC 2023-2030 (MtCO <sub>2</sub> eq)							
Años	2005	2010	2015	2019	2020	2025	2030
Transporte	102.842	91.917	83.730	91.408	73.868	82.478	59.577
Generación de energía eléctrica	112.781	60.460	74.098	44.028	30.751	13.436	12.102
Sector industrial (procesos de combustión)	69.884	49.888	42.216	46.866	41.767	35.463	28.197
Sector industrial (emisiones de procesos)	31.509	23.287	20.591	18.549	16.923	16.850	16.817
Sectores Residencial Comercial e Institucional	30.926	35.135	26.096	25.588	25.291	19.989	14.117
Agricultura	34.920	33.149	33.046	33.907	34.990	31.746	28.439
Residuos	15.425	16.743	16.149	14.718	14.652	12.954	11.322
Industria del refino	11.877	10.366	10.452	10.229	9.245	7.968	5.670
Otras industrias energéticas	1.036	3.619	656	989	785	831	757
Otros sectores	11.744	11.190	12.713	12.754	12.699	11.640	11.096
Emisiones Fugitivas	3.249	3.037	4.053	3.888	3.785	3.239	2.338
Uso de productos	958	977	641	920	945	1.024	1.069
Gases fluorados	10.597	14.729	8.748	5.739	4.968	4.543	3.688
<b>Total</b>	<b>437.749</b>	<b>354.497</b>	<b>333.190</b>	<b>309.583</b>	<b>270.669</b>	<b>242.161</b>	<b>195.189</b>

\* Los datos de 2025 y 2030 son estimaciones del PNIEC 2023-2030.

Tabla 4. Proyección de emisiones en el Escenario PNIEC 2023-2030 (MtCO<sub>2</sub>eq).

En el sector de calefacción y refrigeración se espera que, además de la continua mejora tecnológica, surjan nuevos actores y modelos de inversión que impulsen la descarbonización. En este sector debe existir un incremento anual promedio de energías renovables de un 1,42% para el periodo del 2021-2025 y un 2,36% para el del 2026-2025.

El PNIEC identifica a la energía solar de concentración como una de las tecnologías clave para la descarbonización industrial, destacando la importancia de impulsar soluciones de media y alta temperatura (90°C-400°C) destinadas a la producción de calor y frío en la industria. Dentro de las prioridades se incluyen el desarrollo de soluciones tecnológicas que permitan reducir costes y facilitar su integración en el sistema energético, aprovechando su capacidad para incrementar la inercia y gestionabilidad del sistema. Asimismo, se promueve la implementación de sistemas híbridos con otras energías renovables, lo que contribuirá a desplazar el uso del gas natural como respaldo. A largo plazo, hacia 2050, se fomentará el desarrollo de la próxima generación de tecnología solar de concentración, con el fin de ofrecer una mayor gestionabilidad y firmeza renovable al sistema, manteniendo precios competitivos.

En este sentido, algunas de las referencias a la tecnología solar térmica de concentración se señalan a continuación:

- La medida 1.4, relativa a las instalaciones de energías renovables innovadoras, contempla a la energía solar de concentración para procesos industriales como una de las tecnologías a considerar.
- Según la medida 1.11, el desarrollo de las energías renovables térmicas, incluyendo la energía solar térmica, es fundamental para alcanzar los objetivos climáticos en España.

Algunas de las principales acciones citadas en el PNIEC, relacionadas con el fomento de la energía solar térmica en la industria se describen a continuación:

- Apoyo a renovables térmicas en sectores productivos, para lo cual el Real Decreto 1124/2021 aprobó ayudas directas a las Comunidades Autónomas y las ciudades de Ceuta y Melilla para incentivar la implantación de instalaciones de energías renovables térmicas, incluyendo la solar térmica, en diferentes sectores de la economía. Este programa contaba con una dotación inicial de 150 millones de euros ampliables al doble.
- Integración de renovables térmicas a través de soluciones de almacenamiento térmico donde se prevén ayudas específicas dentro del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, para proyectos innovadores de almacenamiento energético, incluyendo el térmico.

Complementariamente, entre las medidas claves que ha impulsado el PNIEC respecto a la energía solar térmica de concentración se pueden destacar:

- Real Decreto 377/2022, de 17 de mayo, por el que se amplía la tipología de beneficiarios del Real Decreto 477/2021, de 29 de junio, por el que se aprueba la concesión directa a las comunidades autónomas y a las ciudades de Ceuta y Melilla de ayudas para la ejecución de diversos programas de incentivos ligados al autoconsumo y al almacenamiento, con fuentes de energía renovable, así como a la implantación de sistemas térmicos renovables en el sector residencial, en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.
- Real Decreto 1124/2021, de 21 de diciembre, por el que se aprobó la concesión directa a las comunidades autónomas y a las ciudades de Ceuta y Melilla de ayudas para la ejecución de los programas de incentivos para la implantación de instalaciones de energías renovables térmicas en diferentes sectores de la economía, en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.

#### **5.4. Programas de ayudas**

Los programas públicos de apoyo pueden desempeñar un papel fundamental en la implementación y expansión de la energía solar térmica de concentración. Estos programas, a través de subvenciones, préstamos a bajo interés y otros incentivos económicos, permiten a las empresas superar las barreras ligadas al coste inicial, haciendo que la tecnología sea más accesible y fomentando su adopción.

A continuación, se detallan un conjunto de programas disponibles en España para fomentar la inversión en energía solar térmica de concentración, destacando las principales iniciativas y recursos que apoyan este sector.

#### 5.4.1. Programa LIFE

Basándose en el éxito de los programas *Intelligent Energy Europe* (2003-2013) y *Horizon 2020 Energy Efficiency* (2014-2020), el programa europeo LIFE y, particularmente, el subprograma de Transición a la Energía Limpia sigue apoyando la implementación de las políticas de la UE en el ámbito de la energía sostenible, en particular, el Pacto Verde Europeo, los objetivos de energía y clima para 2030 y la estrategia de descarbonización a largo plazo de la Unión Europea para 2050.

El subprograma busca facilitar la transición hacia una economía eficiente y resiliente mediante la financiación de acciones que superen las barreras del mercado, involucrando a diversas partes interesadas, desde autoridades públicas hasta ciudadanos.

Este programa se centra en las siguientes cinco áreas de intervención:

- Construcción de un marco político nacional, regional y local que apoye la transición hacia una energía limpia.
- Aceleración del despliegue tecnológico, digitalización, nuevos servicios y modelos de negocio y mejora de las habilidades profesionales relacionadas en el mercado.
- Atracción de financiación privada para energías sostenibles.
- Apoyo al desarrollo de proyectos de inversión locales y regionales.
- Involucrar y empoderar a los ciudadanos en la transición hacia una energía limpia.

#### 5.4.2. Programación del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER 2021-2027)

Los Programas Operativos del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) son elementos fundamentales de planificación que definen la estrategia y las acciones necesarias para alcanzar los objetivos de la Unión Europea. Estos programas detallan los tipos de acciones a desarrollar y los resultados esperados, proporcionando una hoja de ruta para la implementación efectiva de los fondos.

En el periodo 2021-2027, España dispone de una asignación total de 23.539 millones de euros procedentes del mecanismo FEDER. Estos fondos se distribuyen a través de 19 Programas Operativos Regionales, con uno específico para cada Comunidad Autónoma y Ciudad Autónoma. Además, existe un Programa Operativo Plurirregional que funciona como el principal instrumento de planificación para las actuaciones de la Administración General del Estado financiadas por el FEDER. Los objetivos de estos fondos, en relación con la energía se pueden resumir:

- Una Europa más verde, baja en carbono, en transición hacia una economía con cero emisiones, promoviendo una transición energética limpia y equitativa, la inversión verde y azul, la economía circular, la mitigación y adaptación al cambio climático, la prevención y gestión de riesgos y la movilidad urbana sostenible.
- Una Europa más próxima a los ciudadanos, fomentando el desarrollo integrado y sostenible de todo tipo de territorios e iniciativas locales.
- Por su parte el Fondo de Transición Justa tiene por objetivo, basado en el Acuerdo de París, hacer posible que las regiones y las personas afronten las repercusiones sociales, laborales, económicas y medioambientales de la transición hacia los objetivos en materia de energía y clima de la Unión para 2030 y 2050.

### 5.4.3. El Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR)

El Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR) de España se diseñó para fomentar el crecimiento económico sólido y resiliente y está estructurado en cuatro ejes transversales: una España verde, una España digital, una España sin brechas de género y una España cohesionada e inclusiva. Estos ejes se articulan a través de diez políticas palanca prioritarias.

La energía solar térmica de concentración, como parte de las energías renovables, es una componente crucial dentro de la política de Transición Energética Justa e Inclusiva. Este segmento del PRTR tiene como objetivo el despliegue masivo de generación de energía renovable, que incluye la energía solar térmica de concentración.

#### 5.4.3.1. Proyectos estratégicos para la recuperación y transformación económica (PERTE)

Los Proyectos Estratégicos para la Recuperación y Transformación Económica (PERTE) son iniciativas estratégicas diseñadas para impulsar el crecimiento económico, el empleo y la competitividad en España, en el contexto del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR). Los PERTE se conciben como una herramienta permanente y buscan coordinar y promover proyectos prioritarios que son especialmente complejos o en los que se detectan carencias de mercado, externalidades significativas, o falta de iniciativa o capacidad de inversión por parte del sector privado.

El objetivo principal de los PERTE es gestionar de manera ágil y eficiente los fondos disponibles y fortalecer proyectos que claramente contribuyan a la transformación de la economía española.

Actualmente, hay 12 PERTE aprobados, destacando el de energías renovables, hidrógeno renovable y almacenamiento, así como el de descarbonización industrial. Estos proyectos reciben apoyo mediante un sistema de gobernanza específico y fondos dirigidos a iniciativas de gran envergadura. Las ayudas están orientadas a proyectos que promuevan la descarbonización industrial y el uso de tecnologías avanzadas, como la energía solar térmica de concentración, para reducir emisiones y mejorar la eficiencia energética. A continuación, se detallan los datos más recientes obtenidos de la resolución de los PERTE. Hasta la fecha, con datos a fecha de 31 de octubre de 2024, se han adjudicado un total de 44,163 M€, con una distribución significativa en las distintas áreas de inversión. La modernización del tejido industrial ha captado más del 21% de los fondos adjudicados, destacándose como una de las principales áreas de enfoque. Por su parte, la transición energética representa el 7,4% de los importes asignados.

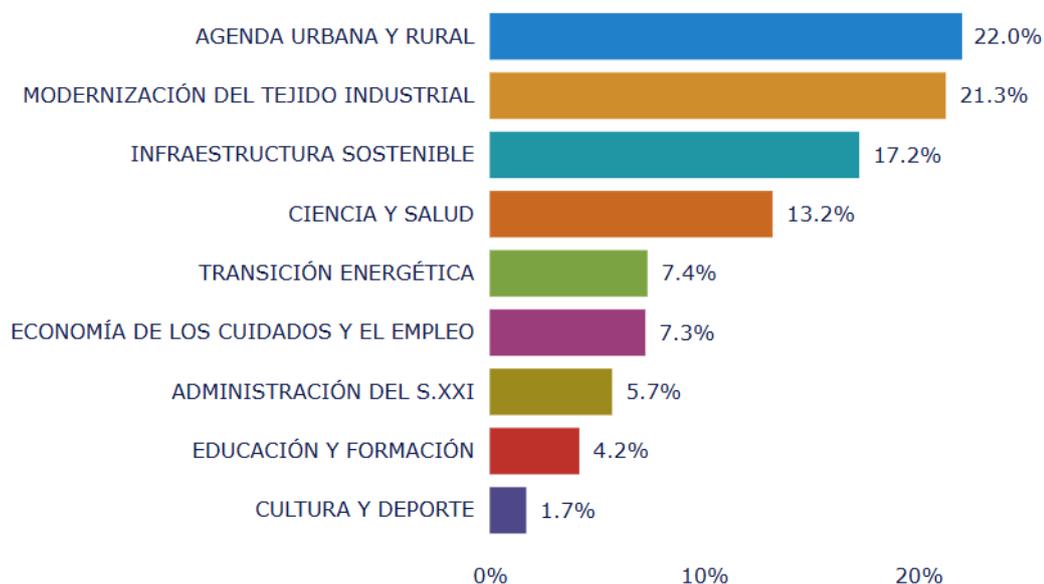


Figura 34. Convocatorias resueltas por palanca (porcentaje sobre el total resuelto) (PERTE, 2024)

Entre las convocatorias vinculadas al PERTE, se destacan la siguiente:

5.4.3.2. Real Decreto 1124/2021 (Ayuda y financiación para la implantación de instalaciones de energías renovables térmicas en diferentes sectores de la economía)

El Real Decreto 1124/2021, de 21 de diciembre, por el que se aprobó la concesión directa a las comunidades autónomas y a las ciudades de Ceuta y Melilla de ayudas para la ejecución de los programas de incentivos para la implantación de instalaciones de energías renovables térmicas en diferentes sectores de la economía, en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, está orientado a fomentar la adopción de tecnologías de energías renovables térmicas en diversos sectores económicos, incluyendo el ámbito industrial. Los programas están diseñados para facilitar la instalación de infraestructuras que utilicen fuentes de energía renovable térmica, contribuyendo así a los objetivos de sostenibilidad y reducción de emisiones de la Unión Europea.

Entre las tecnologías renovables térmicas incluidas se encuentra la energía solar térmica, biomasa, geotermia, hidrotermia o aerotermia. Los datos actualizados de este programa se pueden consultar en la web del IDAE.

5.4.4. Sistema de Certificados de Ahorro Energético (CAE)

Los Certificados de Ahorro Energético (CAE) constituye un instrumento que tiene por objeto incentivar a empresas y particulares a adoptar medidas de eficiencia energética, permitiéndoles monetizar los esfuerzos realizados con beneficios económicos.

Un CAE es un documento digital que acredita la obtención de un ahorro de energía final equivalente a 1 kWh tras implementar medidas de eficiencia energética, según lo establecido en el Real Decreto 36/2023, de 24 de enero, por el que se establece un sistema de Certificados de Ahorro Energético.

Por ejemplo, si una intervención genera un ahorro anual de 500 kWh, será posible emitir 500 CAE como resultado (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, s.f.).

Por lo tanto, este sistema permite convertir los ahorros energéticos en un recurso monetizable, ayudando a compensar parte de los costes asociados a inversiones como la renovación de equipos industriales, la mejora del aislamiento térmico o la actualización de sistemas de iluminación. Los usuarios finales también pueden obtener una retribución económica al vender los ahorros certificados a través del Sistema de CAE.

En este sentido resulta de especial interés aprovechar el marco regulatorio existente en torno a la figura de los CAE, mediante la incorporación de actuaciones tipo ligadas a la energía solar térmica de concentración.

## 5.5. Modelos actuales de financiación

La evaluación de la viabilidad económica de proyectos relacionados con el suministro energético considera típicamente un análisis detallado de los costes y beneficios a lo largo del tiempo, con el objetivo de asegurar que las inversiones efectuadas sean rentables. Particularmente, en el caso de la tecnología solar térmica de concentración, la viabilidad de los proyectos suele analizarse a partir del ahorro en costes energéticos que supone la implementación de esta tecnología en relación con la alternativa a la que sustituye (típicamente, combustibles fósiles). Por lo tanto, este análisis incluye la evaluación del valor presente de las inversiones y los ahorros generados por el menor uso de energía fósil a lo largo del tiempo. A continuación, se detallan algunos de los aspectos clave a considerar en este cálculo:

- **Cálculo del Valor Actual Neto (VAN)** es un indicador económico-financiero que compara el valor presente de los flujos monetarios futuros de un proyecto con la inversión inicial. Si el VAN de un proyecto es positivo, considerando una determinada tasa de descuento, el proyecto se considera económicamente viable, ya que los ingresos (o ahorros) generados superan los costes de la inversión inicial.

$$\text{Inversión} < \sum_{t=1}^n \text{Coste energía fósil sustituida} \left( \frac{1}{(1+i)^t} \right) - \sum_{t=1}^n \text{OPEX} \left( \frac{1}{(1+i)^t} \right) \quad (1)$$

- **Costes iniciales de capital** estos importes corresponden con los costes de inversión inicial (CAPEX). Este término incluye todos los costes necesarios para la adquisición y construcción de las instalaciones y equipos.
- Ahorros en el gasto energético derivados de la instalación de la nueva tecnología. La sustitución de equipos convencionales por proyectos de energía solar térmica de concentración genera típicamente ahorros en el gasto energético, dado que la nueva tecnología sustituye a tecnologías fósiles. En este sentido, es necesario considerar los ahorros generados por la reducción del consumo de energía fósil a través de la implementación del proyecto. La cuantificación de estos ahorros determina la rentabilidad del proyecto a lo largo de su vida útil.
- Es igualmente importante considerar el ahorro en los costes operativos (OPEX) que se deriva de la instalación de la nueva tecnología en comparación con los costes asociados al sistema tecnológico que se pretende sustituir.

- Alineación de perfiles de producción y demanda energética. Para garantizar la viabilidad económica, es crucial alinear los perfiles de producción de energía con las demandas energéticas de la industria.

Complementariamente a los factores mencionados, un aspecto clave a considerar para asegurar la viabilidad de determinados proyectos son las ayudas y subvenciones disponibles. Estos mecanismos pueden reducir significativamente los costes de inversión inicial y mejorar la rentabilidad del proyecto, haciendo que iniciativas que de otro modo no serían viables se conviertan en opciones atractivas para inversores y promotores.

La integración de modelos de financiación adecuados es esencial para mejorar la viabilidad económica de los proyectos energéticos. Estos modelos facilitan la optimización de los recursos financieros, la reducción de riesgos y la maximización de los beneficios. A continuación, se presenta una tabla que detalla alguno de los principales modelos existentes en torno a los proyectos de energía solar térmica de concentración. En la tabla se analiza qué entidad es responsable de cada aspecto (construcción de la planta, operación y mantenimiento, inversión inicial o provisión del “calor como servicio” o HaaS).

	Construcción	Operación y mantenimiento	Inversión Inicial	Heat as a Service (HaaS)
1	Industria	Industria	Industria	N/A
2	Tercero especializado	Industria	Industria	N/A
3	Tercero Especializado	Tercero Especializado	Industria	N/A
4	Tercero Especializado	Tercero Especializado	Tercero Especializado	Tercero Especializado

Tabla 5. Modelos de negocio.

- **Modelo 1:** En el primer modelo analizado, la entidad (típicamente empresa industrial) que desea implementar una instalación de energía solar térmica de concentración es la encargada de desarrollar todos los ámbitos del proyecto (construcción, operación y mantenimiento e inversión inicial). Por lo tanto, la empresa industrial es responsable del diseño de la planta y de la construcción. Complementariamente, la empresa se encarga de la operación y el mantenimiento de la planta, lo que implica capacitar a sus empleados para realizar estas tareas. La inversión inicial de la planta la efectúa igualmente la propia empresa, ya sea mediante financiación interna a partir de fondos propios, por financiación externa, o una combinación de ambas.

La ventaja principal de este modelo es que la empresa industrial mantiene el control absoluto sobre el proyecto y su integración en el proceso industrial, permitiendo una mayor flexibilidad para personalizar el sistema según las necesidades específicas de la empresa. Sin embargo, este modelo requiere una inversión inicial significativa y capacidad de financiación.

- **Modelo 2:** En el segundo modelo presentado, la entidad industrial sigue siendo la que acomete la inversión inicial y gestiona la operación y mantenimiento de la planta, si bien, a diferencia del caso anterior, un tercero especializado se encarga de la construcción de la instalación de energía solar térmica de concentración. En consecuencia, la empresa sigue siendo responsable de la operación y el mantenimiento de la planta, lo que implica

capacitar a sus empleados para estas tareas y la inversión inicial sigue siendo gestionada por la empresa, pudiendo optar por financiación interna, externa o una combinación de ambas opciones.

Este modelo permite a la empresa delegar el proceso de diseño y construcción a un tercero especializado en el ámbito, pudiendo por tanto aprovechar la experiencia de este tercero, mejorando la eficiencia y calidad de la instalación, mientras mantiene el control sobre la operación y el mantenimiento.

- **Modelo 3:** El tercer modelo analizado mantiene la responsabilidad de la inversión inicial en la entidad industrial, si bien un tercero especializado se encarga tanto de la construcción como de la operación y el mantenimiento de la instalación de energía solar térmica de concentración. Por lo tanto, la empresa industrial solo se ocupa de la inversión inicial, con financiación interna, externa o una combinación de ambas. Cabe destacar que los terceros especializados en la construcción, operación y mantenimiento no necesariamente tienen que pertenecer a la misma organización, pudiendo ser diferentes entidades especializadas en cada área.

Este modelo reduce significativamente la carga operativa y de mantenimiento para la empresa, permitiendo que se enfoque en su negocio principal, mientras confía en la experiencia de especialistas para el funcionamiento eficiente de la planta. Adicionalmente, hay menos riesgos relacionados con la instalación y operación, ya que son manejados por expertos. Sin embargo, la desventaja principal es la pérdida de control sobre la operación y el mantenimiento, y la potencial dependencia de múltiples terceros.

- **Modelo 4:** En el cuarto modelo presentado, un tercero especializado se encarga de todos los aspectos del proyecto: construcción, operación, mantenimiento e inversión inicial. Este modelo corresponde al esquema de "Heat as a Service" (HaaS), en el cual la empresa industrial obtiene el calor consumido como un servicio, sin necesidad de invertir en la infraestructura, a cambio de un determinado desembolso efectuado periódicamente.

Este modelo reduce la necesidad de efectuar una inversión inicial significativa, y se reduce el riesgo relacionado con la instalación, operación y mantenimiento de la infraestructura energética, ya que estos son manejados por expertos en cada etapa. La empresa también se beneficia de una mayor predictibilidad en los costes, ya que paga solo por el servicio de calor consumido, evitando los gastos inesperados de mantenimiento y reparación.

Sin embargo, se reduce notablemente el control sobre la infraestructura y operación del sistema, lo que puede limitar la capacidad de la empresa para hacer ajustes según sus necesidades específicas.

## 5.6. Certificaciones y normativa existente

El objeto de este apartado es identificar las normas existentes que son de directa aplicación para las plantas CST – SHIP (de sus iniciales en inglés *Concentrated Solar Thermal – Solar Heat Industrial Process*) con seguimiento en 1 o 2 ejes, tipo Fresnel, cilindroparabólico o discos.

A continuación, se indican esquemáticamente las diferentes normas vigentes o en desarrollo que son aplicables para caracterizar componentes solares térmicos de CST (Figura 35) componentes del campo solar (Figura 36), verificación del campo solar y almacenamiento (Figura 37).

### 5.6.1. Ensayos para captadores solares



Figura 35. Normas para ensayos de captadores solares.

Para obtener una comprensión completa de la normativa aplicable a los captadores solares, a continuación, se explican en detalle todas las regulaciones relevantes.

Aplicación	Nombre norma	Descripción
Captador solar	Norma internacional ISO 9806 "Captadores solares térmicos. Métodos de ensayo"	Ensayo durabilidad (Presión interna, Resistencia a alta temperatura y temperatura de estancamiento, Exposición, Choque térmico, Penetración de lluvia, Resistencia a las heladas, Carga mecánica, Resistencia al impacto) Ensayo caracterización (Rendimiento óptico-térmico, Constante de tiempo, Modificador de ángulo, Caída de presión)
Captador parabólico plantas termoeléctricas	Norma internacional IEC 62862-3-2, "Systems and components - General requirements and test methods for large-size parabolic-trough collectors.	Ensayo caracterización (Rendimiento óptico-térmico, Modificador de ángulo, haciendo referencia a ISO 9806 y error de seguimiento) y prueba de validación
Fresnel plantas termoeléctricas	IEC 62862-5-2, "Systems and components - General requirements and test methods for large-size linear Fresnel collectors.	

Tabla 6. Normativa aplicable a los captadores solares.

### 5.6.2. Ensayos para componentes del campo solar

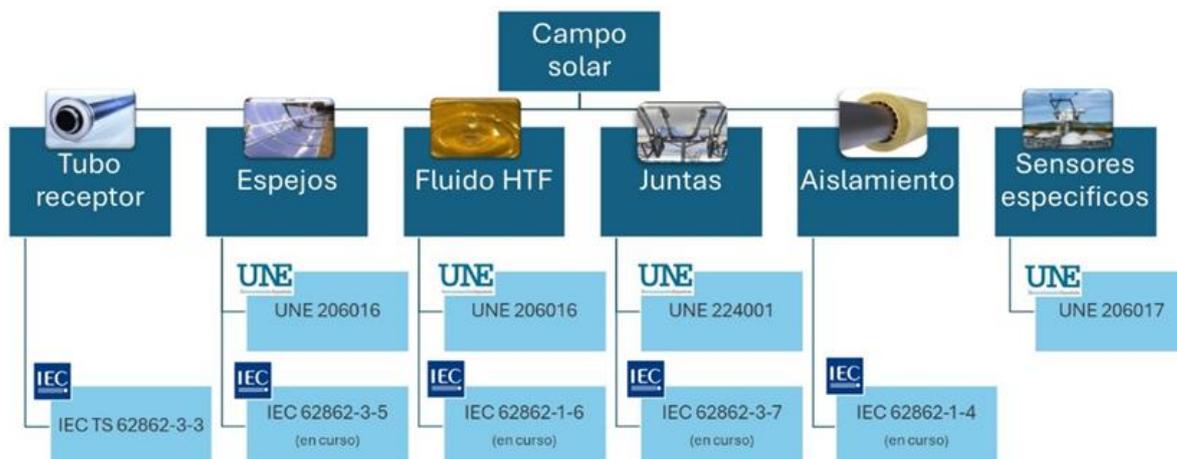


Figura 36. Normas para ensayos de componentes de campo solar.

Para obtener una comprensión exhaustiva de la normativa aplicable a los componentes del campo solar, a continuación se detallan todas las regulaciones pertinentes que afectan.

Aplicación	Nombre norma	Descripción
Fluidos caloportador HTF	Norma Española UNE 206015:2018 "Fluidos de transferencia de calor para centrales termosolares con tecnología de captadores cilindroparabólicos. Requisitos y ensayos."	Esta norma define los métodos de ensayo para determinar las propiedades fisicoquímicas que deben cumplir los líquidos sintéticos orgánicos que se utilizan como fluidos de transferencia de calor (HTF, Heat Transfer Fluid) en las centrales termosolares con tecnología de captadores cilindroparabólicos (CCP), y las técnicas de medición adecuadas para la determinación de sus parámetros característicos
	Norma internacional IEC 62862-1-6: "Silicone-based heat transfer fluids for use in line-focus concentrated solar power applications" (publicación prevista en 2024-05)	
Reflectores	Norma española UNE 206016 "Paneles reflectantes para tecnologías de concentración solar".	Esta norma UNE recoge los métodos de ensayo de los reflectores para ser usados en los sistemas de concentración en plantas termosolares de generación eléctrica y otro tipo de tecnologías de concentración solar. Esta norma describe múltiples ensayos de envejecimiento acelerado y de durabilidad mecánica.

Aplicación	Nombre norma	Descripción
	<p>Norma internacional IEC 62862-3-5 “Laboratory reflectance measurement of solar reflectors” (publicación prevista en 2025-03)</p> <p>IEC 62862-3-6 “Durability of silvered-glass reflectors - Laboratory test methods and assessment” (publicación prevista en 2025-03)</p>	
<p>Tubos receptores</p>	<p>Especificaciones técnicas internacional IEC TS 62862-3-3 “Systems and components – General requirements and test methods for solar receivers”.</p>	<p>Esta norma recoge los métodos de ensayo de rendimiento y durabilidad de los tubos receptores utilizados en los captadores de concentración lineales tipo cilindroparabólico o Fresnel. Se definen métodos de ensayo para determinación de pérdidas térmicas, medidas ópticas, ensayo de sobretemperatura, ciclado y abrasión.</p>
<p>Juntas para PTC</p>	<p>Norma española UNE 224001:2023 “Criterios de diseño, instalación y verificación de las prestaciones de las uniones cinemáticas en las centrales termosolares con tecnología de captadores cilindroparabólicos”.</p>	<p>Esta norma especifica los criterios mínimos para el diseño y verificación de las prestaciones de las uniones cinemáticas en las centrales termosolares con tecnología de captadores cilindroparabólicos. Además, se incluyen pautas o aspectos a considerar para la instalación de estos componentes en campo solar. Se definen métodos de ensayo para determinación de pérdida de carga, ensayo de esfuerzos y desplazamientos longitudinales y rotaciones, ensayo de ciclos térmicos, ensayo de ciclos de vida, ensayo de par máximo y ensayo de verificación de fugas.</p>
	<p>Norma internacional IEC 62862-3-7 “Criteria for design, installation and performance verification of flexible pipe connectors in parabolic trough collector technology” (publicación prevista en 2026-09).</p>	<p>Norma IEC en redacción con base UNE 224001</p>

Aplicación	Nombre norma	Descripción
Aislamiento	Norma internacional IEC 62862-1-4 “Thermal insulation for solar thermal electric plants” (publicación prevista en 2025-06).	Norma IEC en redacción
Sensórica	Norma española UNE 206017:2020 “Sensores específicos para la evaluación global de centrales termosolares.”	Esta norma recoge una serie de recomendaciones a tener en cuenta tanto en la selección como en la instalación de sensores para medida de las variables de interés en plantas termosolares.

Tabla 7. Normativa aplicable a los campos solares.

### 5.6.3. Ensayos para el campo solar y almacenamiento

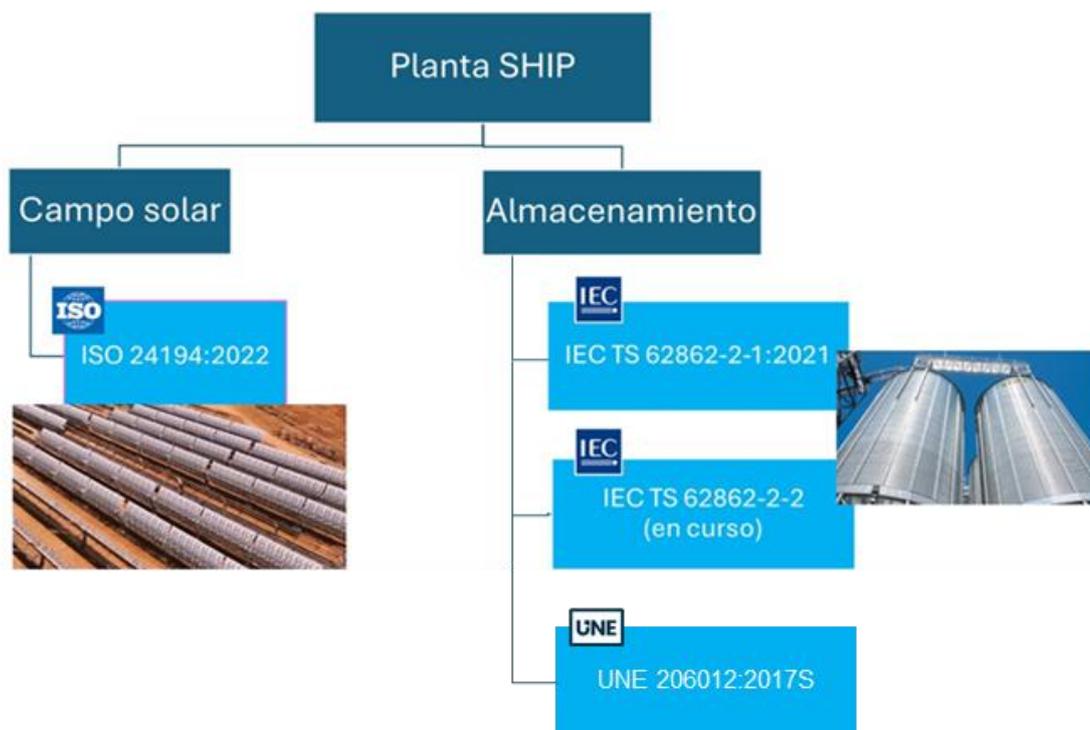


Figura 37. Normas para verificación del campo solar y almacenamiento.

A continuación, se detallan todas las regulaciones pertinentes que afectan.

Aplicación	Nombre norma	Descripción
Campo solar	Norma internacional ISO 24194:2022 Solar energy - Collector fields — Check of performance.	Procedimiento de verificación de la producción térmica del campo solar para aceptación.

Aplicación	Nombre norma	Descripción
Almacenamiento	Norma española UNE 206012:2017 “Caracterización del sistema de almacenamiento térmico para aplicaciones de concentración solar con captadores cilindroparabólicos.”	Esta norma recoge la información necesaria para la determinación del rendimiento y características de funcionamiento de sistemas activos de almacenamiento de energía térmica indirectos, basados en calor sensible y medios de almacenamiento en estado líquido, de las centrales termosolares con tecnología de captadores cilindroparabólicos. Esta norma incluye procedimientos generales para la realización de ensayos en procesos de carga y descarga de energía del sistema de almacenamiento con los que poder caracterizarlo.
	Especificaciones técnicas internacional IEC TS 62862-2-1:2021 - Solar thermal electric plants - Part 2-1: Thermal energy storage systems - Characterization of active, sensible systems for direct and indirect configurations.	Norma IEC en redacción con base UNE 206012 que define los requisitos y los métodos de ensayo para la caracterización de sistemas de almacenamiento de energía térmica (TES) con medios de almacenamiento líquidos.
	Norma internacional IEC 62862-2-2 Solar thermal electric plants - Part 2-2: Thermal energy storage systems - Technical requirements for molten salt used as heat storage and heat transfer medium.	Norma IEC en redacción

Tabla 8. Normativa aplicable al campo solar y almacenamiento

#### 5.6.4. Normativa de diseño

##### 5.6.4.1. Requisitos generales

Para la legalización de la planta, tanto en el diseño de tuberías, equipos como de instalación eléctrica, se cumplirán los requisitos de los códigos de diseño aplicables, así como dispondrá de todos los accesorios necesarios para la correcta ejecución de las pruebas hidráulicas, eléctricas en las condiciones estipuladas.

En relación con las estructuras, plataformas y escaleras destinadas al paso y trabajo del personal, se cumplirá la legislación de seguridad y salud vigente, así como las buenas prácticas y recomendaciones de la industria, respetando espacios, sectorización, zonas de descanso, distancias mínimas, protecciones necesarias, etc.

A continuación, se enumeran en diferentes apartados varias normas, estándares y otros documentos aplicables.

#### 5.6.4.1.1. Obra civil

Se realizará un programa de análisis del suelo antes de la fase de ingeniería básica. Este estudio consistirá en la realización de un estudio topográfico y en la toma de muestras, análisis de laboratorio y confección de informes para definir las características geotécnicas del emplazamiento y los parámetros necesarios para el diseño de cimentaciones.

- 89/106/EC – Construction Products Directive.
- Real Decreto 16–0/1992 - Reglamento concerniente a la construcción.
- CTE (DB-HE; HR; SE-AE; SE-AE; SE-A; DB-SE-A; DB-SI): Código Técnico de la Edificación.
- EHE-08: Instrucción del Hormigón Estructural.
- Eurocódigos estructurales.
- NTE: Norma Tecnológica de la Edificación (en casos no definidos/recogidos por las anteriores normativas).
- NCSE-02: Norma de Construcción Sismo-resistente.

#### 5.6.4.1.2. Equipos mecánicos

Todos los equipos y elementos (se incluyen también tuberías, válvulas, accesorios, bridas, etc.) que en funcionamiento normal de la planta alcancen una temperatura exterior igual o superior a 60°C se calorificarán convenientemente, de forma que se logre una temperatura exterior de contacto inferior a 60°C en las condiciones normales de operación a temperatura ambiente 20°C y velocidad del aire 0 m/s.

- 2014/68/EU- Pressure Equipment Directive.
- 87/404/EEC – Simple Pressure Vessels Directive.
- –4/9/EC - Equipment and Protective Systems Intended for Use in Potentially Explosive Atmospheres (ATEX).
- Real Decreto 14–5/1991 - Reglamento relativo a los recipientes a presión simples.
- Real Decreto 4–0/1996 - Equipos y Sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente Explosivas.
- Real Decreto 769/1999 – Directiva de equipos a presión.
- Real Decreto 2060/2008 – Reglamentos de equipos a presión.
- Códigos ASME, API, EN e ISO.
- AWWA D103-97 –actory - Coated Bolted Steel Tanks for Water Storage.
- TEMA, HEI.

#### 5.6.4.1.3. Equipamiento eléctrico

- 73–23/CEE - Directiva de baja tensión.
- 89/–36/CEE - Directiva de Compatibilidad Electromagnética.
- Real Decreto 8–2/2002 - Reglamento de Baja Tensión.
- Real Decreto 4–0/1996 - Equipos y sistemas de protección diseñados para uso en atmósferas potencialmente explosivas.
- Real Decreto 486/97 – Disposiciones mínimas de seguridad y salud.

- UNE 20324: Grados de protección proporcionados por caja (Código IP).
- UNE 20460: Instalaciones eléctricas en edificios.
- UNE 20481 Instalaciones eléctricas en edificios. Tensión campos.
- UNE 21127 Tensiones estándar.
- UNE 21185: Protección de Estructuras contra el Rayo.
- UNE-EN 60034: Máquinas eléctricas rotativas.
- UNE-EN 60076: Transformadores de Potencia.
- UNE-EN 60865: corrientes de cortocircuito. Cálculo de los efectos.
- UNE-EN 60909: corrientes de cortocircuito sistemas de corriente alterna trifásica.
- UNE-EN 62040: Sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI).
- EN 62149: Componentes activos de fibra óptica y dispositivos.
- IEC 60034 Máquinas eléctricas rotativas.
- IEC 60076 Transformadores de potencia.
- IEC 60726 de tipo seco transformadores de potencia.

#### 5.6.4.1.4. Instrumentación y control

- ISA "Standards and Practices for Instrumentation and Control".
- IEC 61325, instrumentación electrónica.
- ANSI/ISA S75 o IEC 534.
- IEC 60584, ANSI MC-96.1, tablas IPTS-68.
- IEC 60751, DIN 43 460.
- UNE-EN 1434-1:2023 Contadores de energía térmica.





## 6. Identificación de barreras

Cualquier tecnología innovadora debe superar una serie de obstáculos para integrarse de manera efectiva en el mercado y la sociedad. La energía solar térmica de concentración no es una excepción en este sentido. A continuación, se identifican algunas de las barreras que enfrenta actualmente esta tecnología y que es necesario superar para desarrollar su potencial de forma plena. Se consideran barreras aquellos factores que dificultan la adopción y el uso de la tecnología solar térmica de concentración para procesos de media y alta temperatura.

### 6.1. Barreras de mercado

#### 6.1.1. Costes de oportunidad

La decisión de invertir en un sistema de energía solar térmica de concentración está directamente relacionada con la necesidad de reemplazar el sistema energético actual. Esta necesidad puede estar motivada por problemas de funcionamiento del sistema anteriormente utilizado o por decisiones regulatorias que fomenten la adopción de energías renovables (por ejemplo, para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero). Ambos factores pueden estar presentes simultáneamente. Si el equipo existente funciona adecuadamente y su vida útil estimada es larga, esto podría ser una barrera importante para la sustitución de los equipos, en caso de no existir incentivos adicionales (Dolman, Madden, Summers, Klevnas, & Radov, 2011).

Antes de acometer una inversión en dispositivos basados en la tecnología solar térmica de concentración, es necesario evaluar su potencial y considerar las alternativas disponibles. Esto implica la elaboración de planes de negocio y estudios de viabilidad, lo que requiere una considerable cantidad de esfuerzo (económico y de tiempos) para tomar una decisión informada sobre la adopción de este tipo de tecnología.

#### 6.1.2. Escasez de oferta en el mercado

La falta de oferta de soluciones de energía solar térmica de concentración en el mercado global se presenta como una barrera significativa para su adopción, especialmente en comparación con otras tecnologías más consolidadas. Esta limitación en la oferta reduce las opciones disponibles para los actores industriales interesados en integrar la CSP en sus procesos, afectando tanto la competitividad como la flexibilidad de las soluciones energéticas disponibles.

A pesar de los beneficios potenciales de la CSP, la escasez de proveedores y proyectos comercialmente establecidos puede generar incertidumbre entre los tomadores de decisiones, ya que enfrentan mayores dificultades para encontrar soluciones personalizadas y competitivas que se ajusten a sus necesidades. Este panorama podría ralentizar la expansión del mercado CSP y limitar su capacidad para posicionarse como una opción viable dentro de las estrategias industriales y energéticas.

### 6.1.3. Costes iniciales

En el desarrollo de proyectos de energía solar térmica de concentración, la inversión inicial representa el principal coste. Si no se dispone de suficiente capital propio, es necesario recurrir a fondos externos (típicamente, deuda). La solvencia del solicitante se evalúa según los criterios de la entidad que financia la inversión, que a menudo no están adaptados completamente a este tipo de proyectos.

Dado el alto coste inicial, hay tres factores clave que influyen en la disponibilidad de capital por parte de las entidades financieras en proyectos relacionados con energías renovables. En primer lugar, estas entidades deben ser capaces de ofrecer créditos a largo plazo consistentes con la naturaleza de estas inversiones. Como alternativa, las citadas entidades financieras pueden obtener fondos de prestamistas institucionales, como es el caso de fondos de pensiones y seguros, que generalmente apoyan créditos a largo plazo. En segundo lugar, otra barrera está relacionada con la propia naturaleza de las regulaciones bancarias y las políticas internas de las empresas, las cuales pueden dificultar la obtención de créditos a largo plazo. Por último, el tiempo de recuperación de la inversión es otro factor crucial a considerar.

### 6.1.4. Costes operativos

Cuando se implementa una nueva tecnología, es necesario atender al coste de mantenimiento de la planta. Las hipótesis sobre costes operativos tienen una gran influencia en la decisión de inversión y varían notablemente en función de la tecnología. En el caso de la energía solar térmica de concentración, la experiencia acumulada, se han logrado costes de operación y mantenimiento inferiores al 1%, lo que constituye un valor altamente competitivo en comparación con otras aplicaciones.

Considerando estas ventajas, el acceso a ayudas públicas se presenta como una oportunidad clave para el desarrollo de proyectos basados en esta tecnología, destacando la importancia de una regulación que ofrezca los incentivos adecuados para fomentar su despliegue y garantizar la competitividad de las inversiones.

## 6.2. Barreras tecnológicas

### 6.2.1. Desconocimiento de las posibilidades de la energía solar de concentración

A pesar de los avances significativos en el campo de las energías renovables y, en particular, de la tecnología solar térmica de concentración, persiste a la fecha un considerable desconocimiento entre los posibles promotores y potenciales usuarios sobre las posibilidades que ofrecen estas tecnologías.

Muchos de estos potenciales usuarios desconocen cómo funcionan los sistemas de energía solar térmica de concentración y los beneficios que pueden ofrecer. Si bien la idea de dotar de mayores niveles de sostenibilidad a los procesos productivos puede parecer atractiva, la energía solar térmica de concentración enfrenta barreras significativas en su adopción industrial. Esta tecnología requiere ciertas adaptaciones en los procesos industriales existentes, lo cual puede percibirse como un elemento disruptivo en comparación con alternativas convencionales.

La percepción errónea de que el cambio al sistema de energía solar térmica de concentración es más complejo y menos beneficioso desde un punto de vista técnico constituye una de las principales barreras. A menudo, las empresas industriales no tienen un entendimiento claro de cómo integrar estos sistemas en los sistemas existentes.

### 6.2.2. Necesidad de sistemas auxiliares de respaldo

Las instalaciones solares térmicas de concentración requieren de sistemas auxiliares para cubrir la demanda de calor en momentos en que la producción solar no es suficiente. En las actuaciones en plantas industriales existentes, que sería la mayoría de casos, la capacidad de respaldo puede venir dada por los equipos existentes de producción de calor de proceso, sin tener la necesidad de acometer inversiones en nueva capacidad de respaldo. No obstante, esta dependencia puede ser parcialmente mitigada mediante la integración de sistemas de almacenamiento térmico, que permiten suministrar calor de proceso incluso en ausencia de radiación solar. Es fundamental destacar que la necesidad de respaldo es un aspecto común a todas las soluciones de energía renovable.

### 6.2.3. Discontinuidades de los procesos de producción o en las demandas de calefacción y refrigeración

La rentabilidad de las instalaciones solares aumenta cuando se puede aprovechar al máximo la irradiación solar para su uso en la aplicación correspondiente. Sin embargo, grandes discontinuidades en la demanda presentan varios desafíos: durante los periodos de demanda nula, las instalaciones solares permanecen inactivas, lo que reduce su eficiencia y rentabilidad. Además, para mitigar la falta de uso de las instalaciones, puede ser necesario implementar sistemas de almacenamiento. En resumen, para maximizar la viabilidad y rentabilidad de las instalaciones solares, es crucial que los procesos de producción o las demandas de calefacción y refrigeración sean lo más constantes posible, con objeto de evitar periodos de inactividad y la necesidad de mayores sistemas de almacenamiento (Díaz U., Espinosa N., Conzalez C., & Paredes S., 2015).

### 6.2.4. Condiciones del entorno

Es esencial contar con condiciones mínimas de irradiación solar directa adecuadas, lo cual puede restringir el uso de captadores solares de concentración en ciertas áreas geográficas. Estos sistemas solo pueden aprovechar la irradiación directa del Sol, por lo que la ubicación es crucial para determinar la viabilidad técnica y económica de los proyectos. No obstante, existen instalaciones solares de concentración en países del norte de Europa, como Suecia y Dinamarca, lo que indica que, aunque es un factor limitante, no debe considerarse como excluyente (Díaz U., Espinosa N., Conzalez C., & Paredes S., 2015).

Además de las restricciones geográficas, la integración arquitectónica de los captadores solares de concentración presenta desafíos significativos, especialmente en entornos urbanos. Estos sistemas requieren grandes superficies y estructuras específicas para su instalación, lo que puede ser difícil de acomodar en áreas densamente pobladas. No obstante, dado que la aplicación de estas instalaciones para procesos de alta y media temperatura se efectuará, con carácter general, en entornos industriales, se considera que esta barrera no es especialmente significativa.



# 7. Propuestas de desarrollo

Tomando en consideración lo indicado en los capítulos 6. Identificación de barreras y 4. Consumo de energía térmica y potencial solar de concentración, en los que se analiza la demanda y el potencial solar, así como las barreras existentes actualmente para la implementación de la energía solar térmica de concentración en España, se proponen en el presente capítulo medidas para el desarrollo de estas instalaciones para procesos industriales de media y alta temperatura.

El análisis se desglosa en tres niveles, cada uno asociado a diferentes objetivos y plazos de implementación: medidas inmediatas, estrategias a medio plazo y soluciones a largo plazo.

## 7.1. Medidas inmediatas (2025)

Para iniciar la implementación de la energía solar térmica de concentración, se proponen medidas inmediatas que superen las barreras iniciales y promuevan el arranque de este mercado. Estas acciones deben permitir aumentar la concienciación entre los potenciales usuarios, integrar los costes de emisiones de CO<sub>2</sub>, modificar normativas y regulaciones, y mejorar procedimientos, entre otros aspectos fundamentales para la sostenibilidad del mercado solar térmico de concentración. A continuación, se describen algunas medidas que se podrían ser implementadas de forma inmediata.

Para hacer frente a las barreras económicas, como son los altos costes de inversión inicial y la limitada rentabilidad, se deben implementar soluciones efectivas para que el precio del calor solar pueda competir eficazmente con los combustibles fósiles, es esencial implementar una serie de ajustes estratégicos. Esto incluye avanzar en tecnologías que reduzcan los costes de instalación entre un 30% y un 50%. Este ajuste es fundamental para mejorar la competitividad y la viabilidad económica de las instalaciones solares térmicas de concentración frente a las alternativas basadas en combustibles fósiles.

Con objeto de superar las barreras tecnológicas que enfrenta el sector de la energía solar térmica de concentración (necesidad de avances en eficiencia y durabilidad, desconocimiento, etc.), se detallan a continuación una serie de medidas inmediatas para superar estos desafíos:

- Lanzar una campaña orientada a impulsar la adopción de energías renovables en la generación de calor, con el objetivo de optimizar los rendimientos térmicos y mejorar la eficiencia energética mediante diversas tecnologías disponibles.
- Impulso a las Empresas de Servicios Energéticos (ESEs) mediante la promoción de servicios integrales que abarcan desde la consultoría inicial hasta la implementación, con un énfasis especial en la colaboración activa de empresas de ingeniería en la conceptualización y ejecución de soluciones personalizadas para instalaciones energéticas.
- Capacitación y certificación de técnicos especializados en diseño e instalación de sistemas solares térmicos, elevando su competencia y ofreciendo acreditaciones que certifiquen su conocimiento y garantías.
- Impulsar la implementación de la energía solar térmica de concentración en España abre oportunidades clave en investigación, desarrollo e innovación. Aprovechar el respaldo de

programas como Horizonte Europa y las iniciativas de las comunidades autónomas facilitará la financiación de proyectos de I+D que optimicen las tecnologías CSP. Estas inversiones permitirán avanzar en la eficiencia y la integración de la CSP en redes de calor, fortaleciendo así la competitividad del sector energético español y posicionándolo como un referente en soluciones energéticas sostenibles.

- Campañas de difusión dirigidas a usuarios industriales, destacando responsabilidad social corporativa, ahorros económicos, reducción de emisiones y beneficios para la industria local y el empleo.

## 7.2. Propuestas a medio plazo (2030)

Según lo establecido en el PNIEC, España tiene ambiciosos objetivos de reducción de emisiones en 2030, especialmente en el sector industrial.

En este sentido, para hacer frente a las **barreras económicas** que enfrenta el sector de la energía solar térmica de concentración en el medio plazo, se identifican las siguientes medidas:

- Para mitigar el coste inicial de inversión en instalaciones es necesario abarcar múltiples aspectos, incluyendo la necesidad de innovación en productos, el impulso del crecimiento del mercado y la búsqueda de economías de escala. Para abordar este desafío, se propone implementar estrategias que fomenten la innovación tecnológica, faciliten la expansión del mercado y optimicen los procesos para reducir los costes de instalación a medio plazo.
- El desafío en ingeniería y montaje radica en la necesidad de normalizar y optimizar los diseños para instalaciones de energía solar térmica de concentración. La falta de estandarización puede llevar a costes más altos y a una eficiencia reducida en la implementación de proyectos. Para abordar este desafío, es necesario desarrollar directrices claras y estándares técnicos que simplifiquen el proceso de diseño y montaje, asegurando así una ejecución más eficiente y rentable de estas instalaciones.
- Uno de los principales desafíos es la rentabilidad económica de los proyectos de energía solar térmica. Para abordar estos desafíos, es crucial comparar las inversiones en energía solar térmica con otras opciones disponibles en el mercado y considerar los beneficios competitivos y ambientales a largo plazo que pueden derivarse de la mejora del producto y la reputación corporativa. Además, es fundamental internalizar los costes operativos y de mantenimiento previsibles, asegurando un conocimiento real y una gestión efectiva de estos costes para garantizar la durabilidad y fiabilidad de las instalaciones a largo plazo. Para asegurar el acceso a la financiación, es necesario ofrecer garantías sólidas basadas en los ahorros generados por las instalaciones de energía solar térmica.
- El desafío de competir con los combustibles fósiles se centra en varios puntos críticos. Primero, es necesario abordar la variabilidad en los precios de la energía para las empresas, considerando el aumento previsible en los costes de las fuentes de energía fósil como el gas natural, el gas licuado de petróleo y el gasóleo. Además, es esencial incorporar las externalidades, como el coste de CO<sub>2</sub>, para considerar los costes ambientales asociados a los combustibles fósiles y así promover un sistema energético más sostenible y competitivo basado en energías renovables.

Con respecto a las **barreras tecnológicas**, a continuación, se describen las medidas a medio plazo propuestas:

- Desde la perspectiva de los avances que la tecnología debe enfrentar, uno de los principales desafíos es la necesidad de acumular más experiencia práctica en la implementación y operación de los sistemas. La falta de experiencia puede impactar la eficiencia y fiabilidad de estas instalaciones. Para abordar este problema, se deben promover programas de formación y desarrollo profesional para técnicos. Además, es fundamental mejorar la monitorización y seguimiento continuo de estas instalaciones e implementar sistemas avanzados de monitorización y automatización.
- El desafío relacionado con la necesidad de espacio para esta tecnología puede ser abordado simplificando la planificación urbana y asegurando la compatibilidad con regulaciones medioambientales. Es fundamental clasificar los suelos según la normativa urbanística para garantizar el diseño flexible de naves y edificios que puedan tener múltiples usos. Para superar estas dificultades de espacio, es crucial desarrollar un catálogo de soluciones que facilite la integración del aprovechamiento del calor solar.

### 7.3. Soluciones de futuro (2050)

Se prevé que para 2050 los países de la UE deban reducir drásticamente sus emisiones de gases de efecto invernadero y desarrollar estrategias para compensar las emisiones residuales inevitables. Para alcanzar estos objetivos, se proponen las siguientes medidas inmediatas.

Ante los **desafíos económicos** que enfrenta el sector de la energía solar térmica se presentan las medidas a largo plazo:

- El potencial del mercado para la energía solar térmica de concentración, tanto en España como a nivel global, es considerable. Se prevé un avance significativo en la penetración de esta tecnología en el sector industrial, lo cual requerirá la integración de diversas tecnologías para satisfacer la demanda térmica. Esto incluye la posibilidad de combinar la producción solar térmica con biomasa, energía fotovoltaica complementada con bombas de calor y otras soluciones innovadoras.
- Para superar el desafío económico del sector de la energía solar térmica, se debe invertir en innovación tecnológica para reducir costes y aumentar la eficiencia. La creación de economías de escala mediante proyectos de gran envergadura, junto con incentivos fiscales y financiación preferente, puede facilitar la adopción de esta tecnología.

Con respecto a las **barreras tecnológicas** se proponen las siguientes medidas:

- Para incrementar el nivel de uso de la tecnología, es necesario introducir captadores avanzados capaces de operar a más altas temperaturas, con un enfoque en la reducción del peso y los costes de instalación. Además, es fundamental investigar y desarrollar sistemas de almacenamiento más eficientes y con mayor capacidad para asegurar su viabilidad económica a largo plazo.
- El suministro energético completo para la industria debe satisfacer tanto sus necesidades eléctricas como térmicas. Es crucial integrar la producción solar con energías auxiliares mediante sistemas híbridos, vinculando el suministro con estructuras regionales y locales, como comunidades energéticas y empresas cercanas. Estos sistemas deben combinar diversas fuentes renovables, como calor solar, bombas de calor, biomasa, biogás y climatización urbana. Es esencial desarrollar soluciones específicas para las distintas

demandas y localizaciones industriales, garantizando una transición efectiva hacia un suministro energético sostenible y eficiente.

- Fomentar que nuevos polígonos industriales produzcan una parte considerable de su calor con energía renovable, especialmente mediante la energía solar térmica, no solo contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también fortalece la resiliencia energética local y promueve la innovación en tecnologías sostenibles.





## 8. Casos de estudio y ejemplos de instalaciones

Se presentan fichas descriptivas de ejemplos representativos de instalaciones solares térmicas en aplicaciones industriales de media y alta temperatura. Cada ficha incluye un análisis del proceso, esquemas de funcionamiento y la información técnica, económica y ambiental necesaria para evaluar la solución adoptada. También se proporcionan datos sobre las inversiones necesarias y los ahorros logrados.

Junto a estos casos de instalaciones reales, se han incluido ejemplos en fase de diseño desarrollados con nuevos modelos, los cuales sirven para ilustrar el potencial de la energía solar térmica en diversas industrias y tamaños de instalaciones donde aún no existen casos reales documentados.

### 8.1. Índice de Fichas

- 8.1.1. Planta de energía solar térmica de concentración de la fábrica de Heineken - Sevilla.
- 8.1.2. Estudio de viabilidad de energía solar térmica de concentración Papelera.
- 8.1.3. Planta de energía solar térmica de concentración Fábrica de Colgate-Palmolive.
- 8.1.4. Planta de energía solar térmica de concentración en Moralejo Selección.
- 8.1.5. Planta de energía solar térmica de concentración para Natural Cork.
- 8.1.6. Demostrador de energía solar térmica de concentración para HERMA - UNEX.
- 8.1.7. Energía solar térmica de concentración de la fábrica de Heineken - Valencia.
- 8.1.8. Planta de energía solar térmica de concentración para fabrica Alimentaria.
- 8.1.9. Estudio de planta solar térmica de concentración para producción de pienso.
- 8.1.10. Estudio Descarbonización en la producción de mezcla bituminosa caliente (Arena).
- 8.1.11. Descarbonización en la producción de mezcla bituminosa caliente (Aire).
- 8.1.12. Descarbonización en la producción de mezcla bituminosa caliente (Aceite).
- 8.1.13. Estudio de viabilidad de reciclado de viruta de la industria relojera.
- 8.1.14. Energía solar térmica de concentración para instalación de adhesivos.
- 8.1.15. Energía solar térmica de concentración para instalación de Betún Asfáltico.
- 8.1.16. Energía solar térmica de concentración para tratamientos de aceites.
- 8.1.17. Planta de energía solar térmica de concentración de la fábrica de Givaudan.

### 8.1.1. Planta de energía solar térmica de concentración de la fábrica de Heineken - Sevilla



**Localización:**

Sevilla, España



**Tipo de Instalación:**

- Captadores cilindroparabólicos
- Captadores lineales Fresnel
- Receptor central
- Discos parabólicos

**Almacenamiento:** Si

**Puesta en Marcha:** 30/09/2023

**Características**

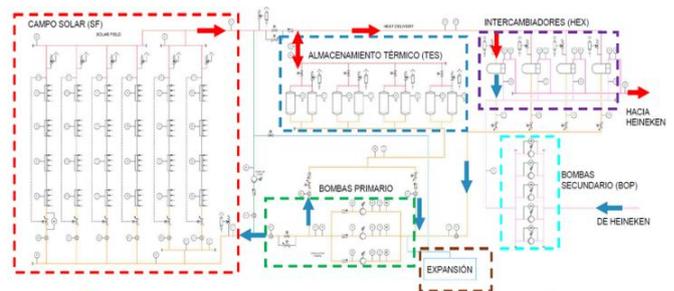
La instalación de energía solar térmica en la fábrica de Heineken en Sevilla es un proyecto innovador que utiliza captadores cilindroparabólicos para generar calor renovable.

Con una capacidad de 30 MW, es la planta de calor solar industrial más grande de Europa y proporciona el 60% de las necesidades de calor de la fábrica. El calor generado se usa para producir agua caliente a 210 °C y 25 bar, que se integra en la red energética de la producción industrial.

<p><b>Ciente y el propietario del terreno</b></p> 	<p><b>Promotor y operador de la planta</b></p> 
<p><b>Capacidad:</b> 30,38 MW</p>	<p><b>Superficie total:</b> 8 ha</p>
<p><b>Fluido térmico:</b> Agua</p>	<p><b>Superficie captación:</b> 43 414 m<sup>2</sup></p>
<p><b>Capacidad solar térmica instalada:</b> 2,700 m<sup>2</sup>/MW</p>	<p><b>Capacidad de almacenamiento térmico:</b> 68 MWh-th</p>
<p><b>Aporte Solar neto:</b> 60 %</p>	<p><b>Fluido caliente generado:</b> 210 °C y 25 bar</p>
<p><b>€ Inversión y financiación:</b></p>	

- Inversión de 20,47 millones de euros.
- Subvención de 13,4 millones de euros del Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

La infraestructura incluye captadores cilindroparabólicos, idénticos en tamaño y estructura a los utilizados en plantas de concentración solar para la producción de electricidad. La energía generada se almacena en ocho depósitos con tecnología termoclina, de 115 m<sup>3</sup> cada uno, lo que permite disponer de energía térmica durante 5 a 6 horas sin necesidad de radiación solar.



Esta energía se transfiere al circuito integrado en la fábrica a través de un grupo de intercambiadores. El campo solar está compuesto por 17 lazos, cada uno con 4 secciones SCAs, accionadas por un drive pylon. Cada sección dispone de entre 7 y 12 captadores, adaptándose al terreno, sumando un total de 627 captadores.

Un sistema de control automático y supervisión, tanto in situ como a distancia, permite garantizar el correcto funcionamiento de la planta y su integración con la demanda térmica de la fábrica. La orientación de los captadores es de este a oeste, lo que favorece una disposición uniforme de la energía térmica renovable a lo largo del año, adaptándose mejor a una demanda constante.

Engie, como desarrollador del proyecto llave en mano, trabajó con Azteq, quien realizó el diseño completo y la ejecución del campo solar a través de su subsidiaria española. Otras empresas locales se encargaron de la instalación, realizando todo el trabajo necesario para instalar los componentes principales.

Aspectos técnicos	Participación solar en la demanda total de calor de la fábrica	60%
	Procesos para los que se aprovecha el calor solar en la fabrica	Elaboración de cerveza (Todos los procesos que requieren de calor)
	Tipo de Captadores	HYT6000 (Tamaño de los captadores CSP 12 m x 5,77m)
	Rendimiento Solar Estimado	28.700 MWth/año
	Rendimiento Solar Estimado Especifico	Área de apertura de 691 kWh/m <sup>2</sup>
	Tipo y tamaño de almacenamiento de calor	Ocho tanques de acero presurizados con una capacidad total de 920 m <sup>3</sup> (68 MWh)
	Combustible sustituido	Gas natural
	Reducción de la Huella de Carbono estimada	Disminución de casi 8.924 toneladas de CO <sub>2</sub> cada año
	Rango de temperatura de funcionamiento del campo solar	Hasta 210 °C
	Rango de temperatura de funcionamiento de la red de calor del cliente	140 – 150 °C
Aspectos Económicos	Modelo de Negocio utilizado en el proyecto	Acuerdo entre agente especializado y cliente por 20 años
	Coste O&M	1% anual coste inversión sin subvención
	Rentabilidad del proyecto TIR	Información confidencial
	Inversión total para la planta SHIP incluyendo almacenamiento e instalación	20,47 M €
	Costes de inversión específicos	484 €/m <sup>2</sup> área de apertura
	Importe total de la subvención	13,4 M €

Se estima que reduzca más de un 60% del consumo de gas fósil de Heineken, permitiendo que disminuya su huella de carbono en casi 8.924 toneladas de CO<sub>2</sub> cada año. Para finales de 2024 se espera que la planta permita el funcionamiento de la fábrica de la empresa cervecera con un 84% de energía renovable, considerando el autoconsumo eléctrico renovable.

El proyecto ha sido validado por expertos en energía solar térmica, incluyendo la visita de un grupo de especialistas del Programa de Calefacción y Refrigeración Solar de la AIE. Este respaldo destaca la importancia y el potencial de la planta solar térmica de concentración como un modelo para futuras iniciativas de descarbonización en el sector industrial.



### 8.1.2. Estudio de viabilidad de energía solar térmica de concentración Papelera



**Localización:**  
Valencia, España



**Tipo de Instalación:**

- Captadores cilindroparabólicos
- Captadores lineales Fresnel
- Receptor central
- Discos parabólicos

**Almacenamiento:** Si

FersiSolar ha desarrollado un estudio de viabilidad para la implementación de una planta de energía solar térmica de concentración en una fábrica papelera, en colaboración con SBP. El objetivo de la misma es sustituir los procesos actualmente dependientes del vapor convencional en la fabricación.

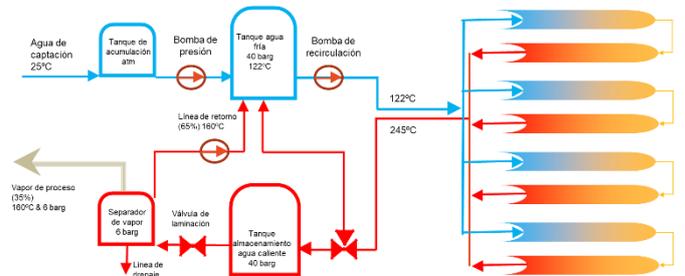
La instalación estaría equipada con 40 colectores cilindroparabólicos SKAL-ET 150, cuyas dimensiones son de 5,77 x 150 metros, optimizados para satisfacer las necesidades térmicas de la planta.

**Características**

Ciente y el propietario del terreno	Fábrica Papelera	Promotor y operador de la planta	FersiSolar
<b>Capacidad:</b>	-	<b>Superficie total:</b>	7 ha
<b>Fluido térmico:</b>	Vapor saturado a 6 bar al 160 °C	<b>Superficie captación:</b>	35.000 m <sup>2</sup>
<b>Capacidad solar térmica instalada:</b>	86 W/m <sup>2</sup>	<b>Capacidad de almacenamiento térmico</b>	100 m <sup>3</sup> por tanque
<b>Calor renovable cubierto del proceso industrial</b>	50,2 %	<b>Fluido caliente generado</b>	140 – 245 °C
<b>€ Inversión y financiación:</b>			
- Inversión de 13.800.000 €			
- LCOH de 37,4 €/MWh,th			

Este sistema satisface un consumo promedio de vapor de 6 MW<sub>th</sub>, logrando un total anual de 50.000 MWh. La producción de energía térmica se garantiza las 24 horas del día, los 365 días del año, asegurando así una operación continua y eficiente.

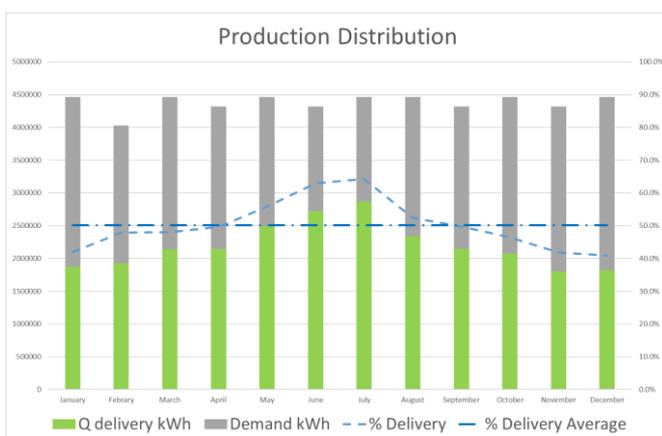
La instalación se desarrollará en un terreno de 7 hectáreas, situado a 1,5 km del punto de conexión. Contará con tanques de almacenamiento de 100 m<sup>3</sup>, diseñados según la normativa ASME VIII Div. 1. El sistema comienza con la captación de agua a 25°C, que pasa por un tanque de acumulación atmosférica. A través de una bomba, el agua se eleva a 122°C y llega a los colectores cilindroparabólicos, donde se calienta hasta alcanzar 245°C, antes de dirigirse al tanque de almacenamiento de agua caliente.



El vapor generado se distribuye en tres corrientes: un 5% se destina a una línea de drenaje continua, mientras que el 65% retorna al tanque de agua fría a 160°C para recirculación. El 35% restante se utiliza como vapor de proceso a 160°C, satisfaciendo las necesidades térmicas de la fábrica.

Con esta configuración, el sistema solar térmico asegura una operación eficiente y continua, y gracias a su amplia lista de referencias, garantiza la viabilidad financiera del proyecto, además de contribuir a la sostenibilidad energética de la instalación.

Aspectos técnicos	Participación solar en la demanda total de calor de la fábrica	50,2%
	Procesos para los que se aprovecha el calor solar en la fabrica	Procesos actualmente dependientes del vapor en una Papelera
	Tipo de Captadores	SKAL-ET
	Rendimiento Solar Estimado	26.369 MWh/año
	Rendimiento Solar Estimado Especifico	No disponible
	Tipo y tamaño de almacenamiento de calor	Tanque diseñado según ASME VIII Div.1 con un volumen de 100 m <sup>3</sup> por tanque.
	Combustible sustituido	Gas natural
	Reducción de la Huella de Carbono estimada	Disminución de casi 35 toneladas de CO <sub>2</sub> cada año
	Rango de temperatura de funcionamiento del campo solar	245 °C
	Rango de temperatura de funcionamiento de la red de calor del cliente	160 °C
Aspectos Económicos	Modelo de Negocio utilizado en el proyecto	Información confidencial
	Coste O&M	435.000 €/año
	Rentabilidad del proyecto TIR	Información confidencial
	Inversión total para la planta SHIP incluyendo almacenamiento e instalación	13.800.000 €
	Costes de inversión específicos	13.800.000 €
	Importe total de la subvención	Información confidencial



La instalación de energía solar térmica de concentración está diseñada para cubrir el 50,2% de la demanda energética de la fábrica, que asciende a 52.000 MWh térmicos anuales. Esto implica que el sistema solar entregará aproximadamente 26.369 MWh térmicos al año, reduciendo significativamente la dependencia de combustibles fósiles. El sistema de almacenamiento, con una capacidad de 9 horas de autonomía y compuesto por 6 pares de tanques, permitirá una operación continua, incluso durante periodos sin radiación solar directa.

La reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> sería de aproximadamente 5.320 toneladas de CO<sub>2</sub> al año. Este ahorro representa una contribución significativa a la descarbonización de la planta, promoviendo una operación más sostenible y eficiente.

### 8.1.3. Planta de energía solar térmica de concentración Fábrica de Colgate-Palmolive



**Localización:**

Atenas, Grecia



**Tipo de Instalación:**

- Captadores cilíndroparabólicos
- Captadores lineales Fresnel
- Receptor central
- Discos parabólicos

**Almacenamiento:** No  
**Puesta en Marcha:** 2018

Absolicon y Sarvanos Solar++ han instalado un campo de captadores solares en la planta de Colgate-Palmolive en Atenas, Grecia, en dos fases desde 2018. El éxito de la primera fase llevó a una ampliación en 2021, optimizando la capacidad solar. La instalación se integró eficientemente con las calderas y el sistema de agua caliente existentes, permitiendo que la energía solar térmica sustituyera el uso de gas natural y mejorara la sostenibilidad de la planta.

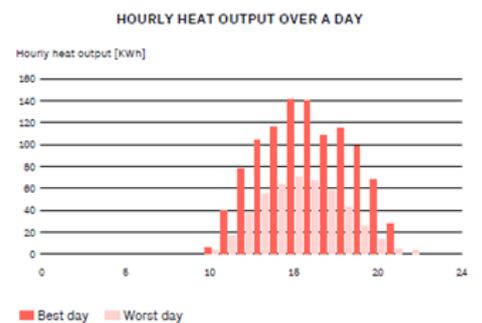
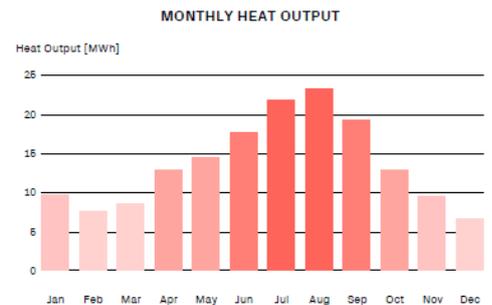
**Características**

<b>Cliente y el propietario del terreno</b>		<b>Promotor y operador de la planta</b>	
<b>Capacidad:</b>	185 kW	<b>Superficie total:</b>	550 m <sup>2</sup>
<b>Fluido térmico:</b>	Agua caliente presurizada	<b>Superficie captación:</b>	264 m <sup>2</sup>
<b>Capacidad solar térmica instalada:</b>	700 W/m <sup>2</sup>	<b>Capacidad de almacenamiento térmico</b>	N/A
<b>Calor renovable cubierto del proceso industrial</b>	70 %	<b>Fluido caliente generado</b>	107 °C
<b>€ Inversión y financiación:</b>			

- Información confidencial

El sistema instalado por SARAVANOS SA, Process++ y Solar++ en la planta de Colgate-Palmolive en Atenas, utiliza captadores parabólicos Absolicon T160, capaces de alcanzar temperaturas de hasta 160°C con una eficiencia óptica del 76,4%. Estos captadores rotan durante el día para maximizar la captación solar y están inclinados a 15° para mejorar la eficiencia y reducir el espacio requerido. Además, su diseño permite un control preciso de la orientación para optimizar la recepción de energía solar a lo largo del día.

El sistema solar térmico muestra su mejor rendimiento en primavera y verano, satisfaciendo hasta el 70% de las necesidades térmicas del reactor de suavizante, lo que reduce significativamente la dependencia de las calderas a gas natural y contribuye a un ahorro energético considerable. Durante los meses nublados y en otoño e invierno, aunque la eficiencia disminuye, el sistema sigue proporcionando una cantidad importante de calor, complementando el suministro de las calderas a gas y garantizando una operación continua del proceso de fabricación con un aporte solar estable.



Aspectos técnicos	 Participación solar en la demanda total de calor de la fábrica	70%
	Procesos para los que se aprovecha el calor solar en la fabrica	El proceso del reactor de suavizante
	Tipo de Captadores	Covered PTC Absolicon T160
	Rendimiento Solar Estimado	163 MWh/año
	Rendimiento Solar Estimado Especifico	617 kWh/m <sup>2</sup> /año
	Tipo y tamaño de almacenamiento de calor	N/A
	Combustible sustituido	Gas natural
	Reducción de la Huella de Carbono estimada	Disminución de casi 35 toneladas de CO <sub>2</sub> cada año
	Rango de temperatura de funcionamiento del campo solar	107 °C
	Rango de temperatura de funcionamiento de la red de calor del cliente	60 °C
Aspectos Económicos	 Modelo de Negocio utilizado en el proyecto	Información confidencial
	Coste O&M	Información confidencial
	Rentabilidad del proyecto TIR	Información confidencial
	Inversión total para la planta SHIP incluyendo almacenamiento e instalación	Información confidencial
	Costes de inversión específicos	Información confidencial
	Importe total de la subvención	Información confidencial

El éxito del primer proyecto llevó a Colgate-Palmolive a añadir un segundo sistema de igual tamaño en 2021, aumentando la capacidad del campo solar y continuando su evaluación de instalaciones solares térmicas en otras plantas. La instalación solar de Atenas ha logrado satisfacer hasta el 70% de las necesidades térmicas del reactor de suavizante, contribuyendo a una reducción anual de aproximadamente 35 toneladas de CO<sub>2</sub>.



### 8.1.4. Planta de energía solar térmica de concentración en Moralejo Selección



**Localización:**  
Zamora, España



**Tipo de Instalación:**

- Captadores cilindroparabólicos
- Captadores lineales Fresnel
- Receptor central
- Discos parabólicos

**Almacenamiento:** Si

Moralejo Selección, empresa del sector cárnico español, ha implementado una instalación solar térmica con unidades SunSpin (TCT RED) para optimizar sus procesos de limpieza, esterilización y agua caliente sanitaria (ACS).

Esta instalación, con 100 equipos de discos parabólicos de 4,4 m<sup>2</sup> en un área de 2.000 m<sup>2</sup>, transporta el calor a través de una conducción de 60 metros hasta los depósitos de acumulación, donde el agua de consumo de la fábrica se calienta indirectamente mediante un intercambiador de calor.

#### Características

**Cliente, Promotor, operador y el propietario del terreno**



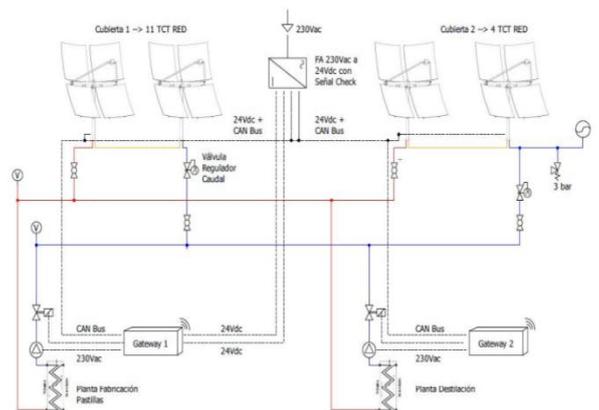
**Empresa EPC**



<b>Capacidad:</b>	0,35 MW	<b>Superficie total:</b>	2.000 m <sup>2</sup>
<b>Fluido térmico:</b>	Agua + Polipropilenglicol	<b>Superficie captación:</b>	Superficie de Captación Activa: 440m <sup>2</sup> . Área de Apertura: 513m <sup>2</sup>
<b>Capacidad solar térmica instalada:</b>	Superficie de Captación Activa: 1.222 m <sup>2</sup> /MW. Área de Apertura: 1.425 m <sup>2</sup> /MW	<b>Capacidad de almacenamiento térmico</b>	6,26 MWh
<b>Aporte Solar neto:</b>	60 %	<b>Fluido caliente generado</b>	210 °C y 25 bar
<b>€ Inversión y financiación:</b>			

- Inversión de 310.000 euros.
- El proyecto ha contado con financiación a partir de una subvención.

La instalación solar térmica en Moralejo Selección cuenta con 100 unidades de discos parabólicos SunSpin (TCT RED), cada uno con una superficie activa de 4,4 m<sup>2</sup>. La capacidad solar térmica instalada es de 1.222 m<sup>2</sup>/MW en superficie de captación activa, con un área de apertura de 1.425 m<sup>2</sup>/MW. La instalación cubre un 46% del calor renovable necesario para el proceso industrial y dispone de una capacidad de almacenamiento térmico de 6,26 MWh, con dos depósitos de 38.500 litros de agua caliente.



El sistema utiliza una mezcla de agua y polipropilenglicol como fluido térmico, operando a temperaturas de hasta 120°C en el campo solar y hasta 70°C en la red de calor de la fábrica. La instalación sustituye el gas natural, con una reducción estimada de la huella de carbono de 186 toneladas al año, y se estima una rentabilidad del proyecto (TIR) del 22%.

Aspectos técnicos		Participación solar en la demanda total de calor de la fábrica	25%
		Procesos para los que se aprovecha el calor solar en la fabrica	Limpieza, esterilización y ACS
		Tipo de Captadores	Disco parabólico SunSpin (TCT RED)
		Rendimiento Solar Estimado	80%
		Rendimiento Solar Estimado Especifico	No Disponible
		Tipo y tamaño de almacenamiento de calor	2 x 38.500 litros de Agua Caliente
		Combustible sustituido	Gas natural
		Reducción de la Huella de Carbono estimada	Disminución de 186 toneladas de CO <sub>2</sub> cada año
		Rango de temperatura de funcionamiento del campo solar	Hasta 120 °C
		Rango de temperatura de funcionamiento de la red de calor del cliente	Hasta 70 °C
Aspectos Económicos		Modelo de Negocio utilizado en el proyecto	Venta directa de instalación
		Coste O&M	5.000 €/año
		Rentabilidad del proyecto TIR	22%
		Inversión total para la planta SHIP incluyendo almacenamiento e instalación	310.000 €
		Costes de inversión específicos	310.000 €
		Importe total de la subvención	Información confidencial

Se estima que la instalación solar térmica de Moralejo Selección reducirá significativamente el consumo de gas natural, logrando una reducción aproximada de 186 toneladas de CO<sub>2</sub> al año. El sistema, con una capacidad solar térmica instalada de 1.222 m<sup>2</sup>/MW y un almacenamiento térmico de 6,26 MWh, contribuirá a cubrir el 25% de la demanda total de calor de la fábrica.

### 8.1.5. Planta de energía solar térmica de concentración para Natural Cork



**Localización:**  
Badajoz, España



**Tipo de Instalación:**

- Captadores cilindroparábolicos
- Captadores lineales Fresnel
- Receptor central
- Discos parabólicos

**Almacenamiento:** Si  
**Puesta en Marcha:** 2019

**Características**

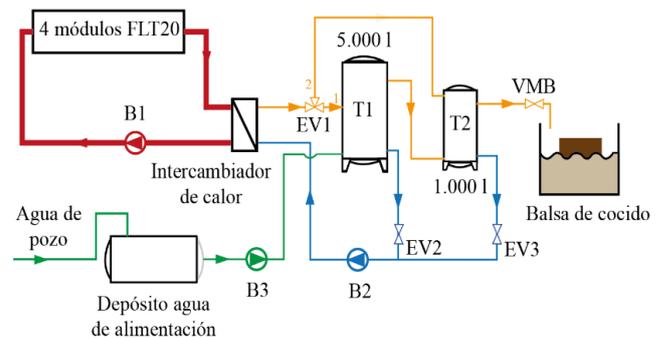
La instalación solar en Natural Cork tiene como objetivo precalentar el agua de la caldera de cocción para reducir el consumo del quemador de pellets.

El sistema cuenta con 4 módulos de concentración solar FLT20 de SOLATOM, cada uno con óptica Fresnel lineal, una potencia nominal de 14,5 kWt y un área de apertura de 26,4 m<sup>2</sup>. Los módulos están conectados en serie, orientados norte-sur (con un desvío de 13º al este), y ocupan un área total de 150 m<sup>2</sup>, ubicada a 7 metros de la caldera.

<b>Cliente</b>	Natural Cork	<b>Promotor</b>	CSIN
<b>Operador</b>	SOLATOM	<b>Empresa EPC</b>	CICYTEX CENTRO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS DE ESTEREOGRAFÍA
<b>Capacidad:</b>	0,05 kW	<b>Superficie total:</b>	150 m <sup>2</sup>
<b>Fluido térmico:</b>	Agua presurizada	<b>Superficie captación:</b>	105 m <sup>2</sup>
<b>Capacidad solar térmica instalada:</b>	0,48 W/m <sup>2</sup>	<b>Capacidad de almacenamiento térmico</b>	6.000 l
<b>Calor renovable cubierto del proceso industrial</b>	N/A	<b>Fluido caliente generado</b>	100 °C
<b>€ Inversión y financiación:</b>			

- Información confidencial

El campo solar está conectado a dos depósitos (de 1.000 y 5.000 litros) mediante un intercambiador de calor, usando un circuito primario con agua glicolada a 6 bar y un circuito secundario con agua a 5 bar. El depósito pequeño proporciona agua caliente durante las "calderadas", mientras que el grande lo hace cuando la balsa se reemplaza.



El sistema se activa cuando la radiación solar supera los 200 W/m<sup>2</sup>, iniciando el flujo en el circuito primario. Entre semana, el campo solar calienta solo el depósito de 1.000 litros, y los fines de semana calienta ambos depósitos, ajustando las electroválvulas y el funcionamiento de las bombas según las necesidades. Si el depósito de 1,000 litros ya está lleno, se prioriza la carga del depósito de 5.000 litros, abriendo la válvula EV2.

Para recargar la caldera de cocido, se abre la válvula VMB y el agua fluye hacia la caldera. Al bajar la presión del circuito a 3 bares, la bomba B3 se activa, reintroduciendo agua del depósito y restableciendo la presión. Esto puede hacerse mientras los depósitos se calientan o cuando el campo solar no opera.

Aspectos técnicos	Participación solar en la demanda total de calor de la fábrica	No disponible
	Procesos para los que se aprovecha el calor solar en la fabrica	Cocción corcho
	Tipo de Captadores	FLT20
	Rendimiento Solar Estimado	No disponible
	Rendimiento Solar Estimado Especifico	No disponible
	Tipo y tamaño de almacenamiento de calor	Agua presurizada 6.000 l
	Combustible sustituido	Biomasa
	Reducción de la Huella de Carbono estimada	No disponible
	Rango de temperatura de funcionamiento del campo solar	100 °C
	Rango de temperatura de funcionamiento de la red de calor del cliente	100 °C
Aspectos Económicos	Modelo de Negocio utilizado en el proyecto	Información confidencial
	Coste O&M	Información confidencial
	Rentabilidad del proyecto TIR	Información confidencial
	Inversión total para la planta SHIP incluyendo almacenamiento e instalación	Información confidencial
	Costes de inversión específicos	Información confidencial
	Importe total de la subvención	Información confidencial

La planta solar operó de manera continua desde octubre de 2019 hasta mayo de 2020, y luego de forma puntual para pruebas en verano. Durante el cocido, el campo solar calienta los depósitos y realiza descargas de agua caliente hacia la caldera. La operación diaria ajusta los modos de funcionamiento para mantener la temperatura objetivo en los depósitos.



### 8.1.6. Demostrador de energía solar térmica de concentración para HERMA - UNEX



**Localización:**  
Mérida, España



**Tipo de Instalación:**

- Captadores cilindroparábólicos
- Captadores lineales Fresnel
- Receptor central
- Discos parabólicos

**Almacenamiento:** No

**Características**

Demostrador de generador instalado en la fábrica de HERMA (Mérida), capaz de producir vapor saturado a 6 bar de forma indirecta a través de un kettle reboiler (generador de vapor).

Consta de 4 módulos FLT20, que suman aproximadamente 105 m<sup>2</sup> de área de captación total. Actualmente, el demostrador opera de manera independiente de la red principal de vapor y es gestionado por la Universidad de Extremadura (UNEX).

**Cliente y Operador**



**Promotor**



**Empresa EPC**

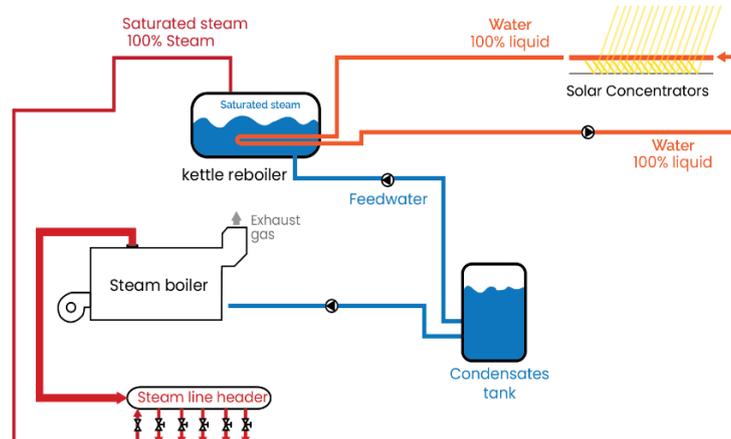


<b>Capacidad:</b>	0,05 kW	<b>Superficie total:</b>	150 m <sup>2</sup>
<b>Fluido térmico:</b>	Agua-Vapor	<b>Superficie captación:</b>	105 m <sup>2</sup>
<b>Capacidad solar térmica instalada:</b>	0,48 W/m <sup>2</sup>	<b>Capacidad de almacenamiento térmico</b>	N/A
<b>Calor renovable cubierto del proceso industrial</b>	N/A	<b>Fluido caliente generado</b>	Vapor saturado 6 bar
<b>Inversión y financiación:</b>			

- Información confidencial

El prototipo utiliza un concentrador solar de media temperatura diseñado para procesos industriales, basado en captadores lineales Fresnel. El sistema opera mediante un circuito primario de agua osmotizada a 6 bar, que circula por el colector solar, incrementando su energía térmica. Este fluido transfiere calor al circuito secundario en el generador de vapor, donde el agua del circuito secundario cambia de fase a vapor. Este proceso se repite de manera continua para asegurar un suministro constante de vapor.

Ambos circuitos se alimentan desde un depósito acumulador conectado a la industria, asegurando una operación eficiente y adaptable a diferentes aplicaciones térmicas.



Aspectos técnicos		Participación solar en la demanda total de calor de la fábrica	N/A
		Procesos para los que se aprovecha el calor solar en la fabrica	N/A
		Tipo de Captadores	FLT20 SOLATOM
		Rendimiento Solar Estimado	N/A
		Rendimiento Solar Estimado Especifico	N/A
		Tipo y tamaño de almacenamiento de calor	N/A
		Combustible sustituido	N/A
		Reducción de la Huella de Carbono estimada	N/A
		Rango de temperatura de funcionamiento del campo solar	Vapor saturado 6 bar
	Rango de temperatura de funcionamiento de la red de calor del cliente	Vapor saturado 6 bar	
Aspectos Económicos		Modelo de Negocio utilizado en el proyecto	Información confidencial
		Coste O&M	Información confidencial
		Rentabilidad del proyecto TIR	Información confidencial
		Inversión total para la planta SHIP incluyendo almacenamiento e instalación	Información confidencial
		Costes de inversión específicos	Información confidencial
		Importe total de la subvención	Información confidencial



El objetivo del prototipo de concentración solar de media temperatura es desarrollar una solución eficiente para la generación de vapor en procesos industriales. Utilizando tecnología solar, el prototipo busca aprovechar la energía solar para producir vapor a temperaturas medias, lo que resulta clave para sectores como el metalmecánico y electrotécnico. Este sistema permitirá probar la viabilidad de la tecnología en condiciones reales, identificar posibles mejoras y optimizar su rendimiento para satisfacer las necesidades específicas de vapor en las industrias, contribuyendo así a la mejora de la eficiencia energética y la sostenibilidad en estos sectores.

### 8.1.7. Energía solar térmica de concentración de la fábrica de Heineken - Valencia



**Localización:**

Valencia, España



**Tipo de Instalación:**

- Captadores cilindroparabólicos
- Captadores lineales Fresnel
- Receptor central
- Discos parabólicos

**Almacenamiento:** Sí

**Puesta en Marcha:** 28/02/2024

**Características**

La instalación de energía solar térmica en la fábrica de Heineken en Valencia es un proyecto innovador que utiliza captadores lineales Fresnel para generar calor renovable. Junto con la de Sevilla, es la planta de calor solar industrial más grande de Europa.

Con una capacidad de 1,5 MW, proporciona el 10% de la demanda de vapor de la fábrica. El calor generado se usa para producir agua caliente a 225 °C, que se integra en la red energética de la producción industrial.

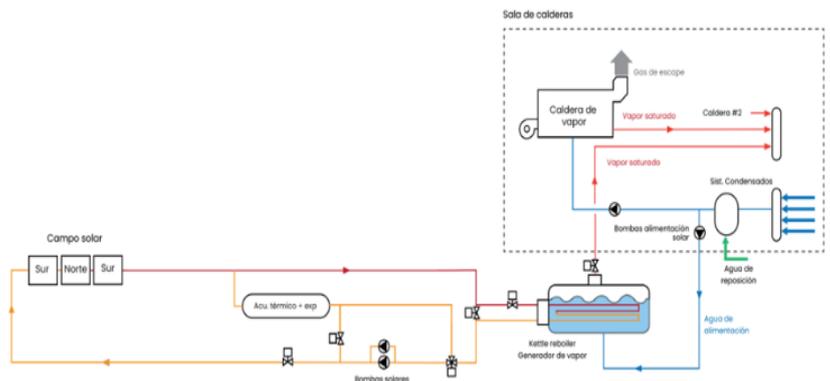
<b>Ciudad</b>	Valencia	<b>Promotor, operador y empresa EPC</b>	CSIN
<b>Capacidad:</b>	4,14 MW	<b>Superficie total:</b>	10,35 ha
<b>Fluido térmico:</b>	Vapor 8 bar	<b>Superficie captación:</b>	5 925,92 m <sup>2</sup>
<b>Capacidad solar térmica instalada:</b>	-	<b>Capacidad de almacenamiento térmico</b>	1,5 MWh-th
<b>Aporte Solar neto:</b>	10 %	<b>Fluido caliente generado</b>	225 °C
<b>€ Inversión y financiación:</b>			

- Inversión de 3 millones de euros.
- Subvención de 1,4 millones de euros.

El campo solar es un circuito independiente de agua presurizada. El circuito de solar está conectado a un pequeño acumulador térmico que además actúa de vaso de expansión.

Las bombas solares circulan caudal por el

campo solar y si las condiciones de radiación lo permiten, el campo solar comienza el proceso de apunte. El agua caliente que sale del campo solar se circula por el generador de vapor (kettle reboiler). La energía solar del campo comienza a generar vapor en el interior del kettle, que con la válvula de descarga cerrada comienza a aumentar su presión interna. Cuando la presión del kettle alcanza la consigna de operación la válvula de descarga empieza a abrir poco a poco para permitir la progresiva atemperación de la línea de vapor y permitir la salida de condensados. A partir de ese momento la válvula abre completamente y empieza la descarga de vapor a la línea de fábrica.



 <b>Aspectos técnicos</b>	Participación solar en la demanda total de calor de la fábrica	10%
	Procesos para los que se aprovecha el calor solar en la fabrica	Pasteurización, cocción y otros
	Tipo de Captadores	FLT20 SOLATOM
	Rendimiento Solar Estimado	Desconocido
	Rendimiento Solar Estimado Especifico	Desconocido
	Tipo y tamaño de almacenamiento de calor	Agua presurizada
	Combustible sustituido	Gas natural
	Reducción de la Huella de Carbono estimada	1.300 toneladas de CO <sub>2</sub> cada año
	Rango de temperatura de funcionamiento del campo solar	225 °C
	Rango de temperatura de funcionamiento de la red de calor del cliente	Vapor a 8 bar
 <b>Aspectos Económicos</b>	Modelo de Negocio utilizado en el proyecto	Venta de energía
	Coste O&M	Aprox. 1% CAPEX
	Rentabilidad del proyecto TIR	Información confidencial
	Inversión total para la planta SHIP incluyendo almacenamiento e instalación	3 M €
	Costes de inversión específicos	500 €/m <sup>2</sup>
	Importe total de la subvención	1,4 M €



### 8.1.8. Planta de energía solar térmica de concentración para fabrica Alimentaria



**Localización:**

Valencia, España



**Tipo de Instalación:**

- Captadores cilindroparábólicos
- Captadores lineales Fresnel
- Receptor central
- Discos parabólicos

**Almacenamiento:** No

**Características**

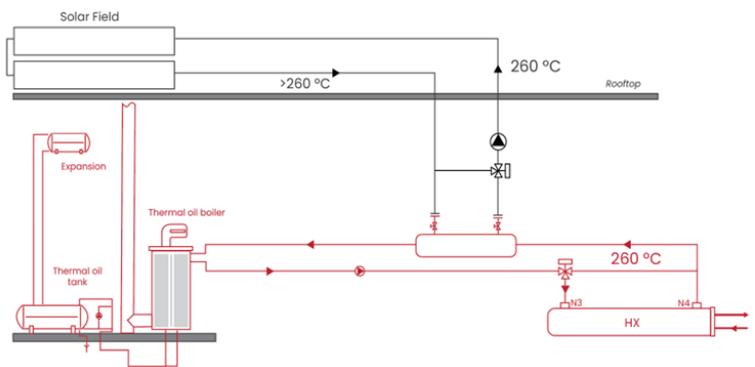
El sistema solar está instalado en cubierta en dos filas en serie cada una con 260 m2 de espejos, con un total de 520 m2. La instalación solar precalienta el aceite térmico de proceso.

El retorno del aceite de proceso trabaja a 260 y el campo solar le eleva la temperatura hasta un máximo de 290 °C. De esta forma se consigue que el aceite llegue más caliente a la caldera, reduciendo su consumo energético.

<b>Cliente y operador</b>	Empresa alimentación		<b>Promotor</b>	
			<b>Empresa EPC</b>	
<b>Capacidad:</b>	0,29 MW	<b>Superficie total:</b>	0,08 ha	
<b>Fluido térmico:</b>	Aceite térmico	<b>Superficie captación:</b>	520 m <sup>2</sup>	
<b>Capacidad solar térmica instalada:</b>	-	<b>Capacidad de almacenamiento térmico</b>	N/A	
<b>Calor renovable cubierto del proceso industrial</b>	-	<b>Fluido caliente generado</b>	260 °C	
<b>€ Inversión y financiación:</b>				

- Información confidencial

El sistema de captación solar térmica con colectores lineales Fresnel está diseñado para precalentar aceite térmico en procesos industriales. El campo solar, compuesto por colectores que captan la radiación solar, incrementa la temperatura del aceite de retorno del proceso, que llega a 260 °C, elevándola hasta un máximo de 290 °C. Este aceite precalentado es transportado a través de tuberías hacia un intercambiador de calor, donde transfiere energía térmica al proceso industrial o a otro medio, como agua o vapor.



Para garantizar una operación estable, el sistema cuenta con un tanque de expansión que regula los cambios de volumen del fluido por las variaciones térmicas y un tanque de almacenamiento térmico para optimizar la disponibilidad de calor. Una caldera de respaldo asegura que se mantenga la temperatura del aceite, mientras que una bomba garantiza la circulación continua del fluido. El conjunto de válvulas y dispositivos de control permite un flujo eficiente y seguro, maximizando el aprovechamiento de la energía solar y asegurando un suministro de calor.

Aspectos técnicos	 Participación solar en la demanda total de calor de la fábrica	No disponible
	Procesos para los que se aprovecha el calor solar en la fabrica	Tratamiento térmico de frutos secos
	Tipo de Captadores	FLT20 SOLATOM
	Rendimiento Solar Estimado	No disponible
	Rendimiento Solar Estimado Especifico	No disponible
	Tipo y tamaño de almacenamiento de calor	N/A
	Combustible sustituido	Gas natural
	Reducción de la Huella de Carbono estimada	94,85
	Rango de temperatura de funcionamiento del campo solar	>260 °C
	Rango de temperatura de funcionamiento de la red de calor del cliente	>260 °C
Aspectos Económicos	 Modelo de Negocio utilizado en el proyecto	Llave en mano
	Coste O&M	Información confidencial
	Rentabilidad del proyecto TIR	Información confidencial
	Inversión total para la planta SHIP incluyendo almacenamiento e instalación	Información confidencial
	Costes de inversión específicos	Información confidencial
	Importe total de la subvención	Información confidencial



### 8.1.9. Estudio de planta solar térmica de concentración para producción de pienso



**Localización:**  
España



**Tipo de Instalación:**

- Captadores cilindroparabólicos
- Captadores lineales Fresnel
- Receptor central
- Discos parabólicos

**Almacenamiento:** Si

**Características**

<b>Capacidad:</b>	0,2315 MW	<b>Superficie total:</b>	0,1125 ha
<b>Fluido térmico:</b>	Agua	<b>Superficie captación:</b>	400 m <sup>2</sup>
<b>Capacidad solar térmica instalada:</b>	1.728 m <sup>2</sup> /MW	<b>Capacidad de almacenamiento térmico:</b>	1,4 MWh-th
<b>Calor renovable cubierto del proceso industrial:</b>	-	<b>Fluido caliente generado:</b>	40 - 95 °C

€ **Inversión y financiación:**

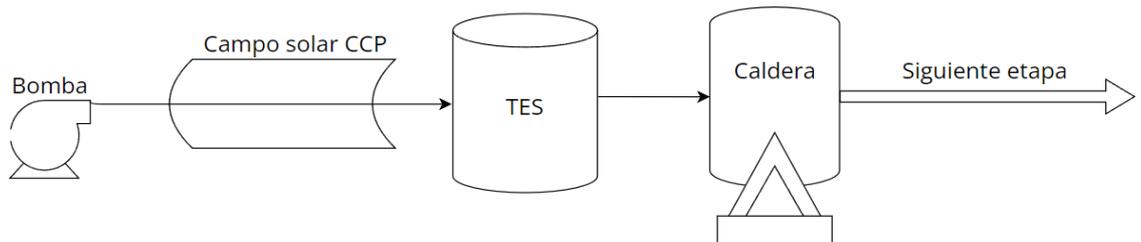
- Inversión: 200.000 €
- Subvención: 110.000 €

Tewer ha desarrollado un estudio de viabilidad para implementar una planta de energía solar térmica en una industria de producción de pienso, ubicada en una zona remota donde el coste del combustible fósil es elevado.

El proyecto constaría de un sistema de captadores cilindroparabólicos modulares para el precalentamiento de agua en calderas de vapor, cubriendo el 22,7% de la demanda total de calor de la fábrica y con un rendimiento solar estimado del 70%.

El estudio consiste en un sistema de energía solar térmica de concentración con colectores cilindroparabólicos, diseñado para precalentar agua de caldera y para el secado de materiales en la producción de pienso. Con una capacidad instalada de 0,2315 MW y una superficie de captación de 400 m<sup>2</sup>, el sistema utiliza agua como fluido térmico, funcionando en un rango de temperaturas de 40 a 95 °C en el campo solar. El calor captado se almacena en tanques de 25,000 litros con una capacidad térmica de 1,4 MWh-th, lo que permite continuidad en el suministro energético incluso en ausencia de radiación solar. Este calor se transfiere a la caldera, generando vapor saturado a 6 bar para cubrir un 22,7 % de la demanda térmica de la fábrica.

El sistema, que ocupa una superficie total de 0,1125 hectáreas y cuenta con un rendimiento solar estimado del 70 %, sustituye el uso de GLP, logrando una significativa reducción de la huella de carbono del 22,7 %. Además, la instalación, con una capacidad solar térmica de 1.728 m<sup>2</sup>/MW.



 Aspectos técnicos	Participación solar en la demanda total de calor de la fábrica	22,70%
	Procesos para los que se aprovecha el calor solar en la fabrica	Pre calentamiento solar para el agua de la caldera y secado
	Tipo de Captadores	Cilindroparabólico
	Rendimiento Solar Estimado	70%
	Rendimiento Solar Estimado Especifico	No disponible
	Tipo y tamaño de almacenamiento de calor	Tanques de 25.000 L
	Combustible sustituido	GLP
	Reducción de la Huella de Carbono estimada	22,70%
	Rango de temperatura de funcionamiento del campo solar	40 - 95 °C
	Rango de temperatura de funcionamiento de la red de calor del cliente	Vapor saturado 6 bar
 Aspectos Económicos	Modelo de Negocio utilizado en el proyecto	EPC y entrega de planta
	Coste O&M	25.000 €/año
	Rentabilidad del proyecto TIR	7%
	Inversión total para la planta SHIP incluyendo almacenamiento e instalación	200.000 €
	Costes de inversión específicos	Información confidencial
	Importe total de la subvención	110.000 €

8.1.10. Estudio Descarbonización en la producción de mezcla bituminosa caliente (Arena)



**Localización:**

Sevilla, España



**Tipo de Instalación:**

- Captadores cilindroparabólicos
- Captadores lineales Fresnel
- Receptor central
- Discos parabólicos

**Almacenamiento:** Si

**Características**

Tewer ha realizado un estudio de viabilidad para implementar una planta de energía solar térmica con captadores lineales Fresnel y reflector secundario beam-down.

Este sistema se utiliza para secar y calentar áridos, así como para precalentar agua en calderas de vapor, cubriendo hasta el 90% de la demanda de calor de la fábrica con un rendimiento solar estimado del 30%.

Cliente y promotor



Empresa EPC



**Capacidad:** 7,2 MW

**Superficie total:** 3,6 ha

**Fluido térmico:** Árido

**Superficie captación:** 24.000 m<sup>2</sup> primario + 5.850 m<sup>2</sup> secundario

**Capacidad solar térmica instalada:** 3.333 m<sup>2</sup>/MW

**Capacidad de almacenamiento térmico:** 355 MWh-th

**Aporte Solar neto:** -

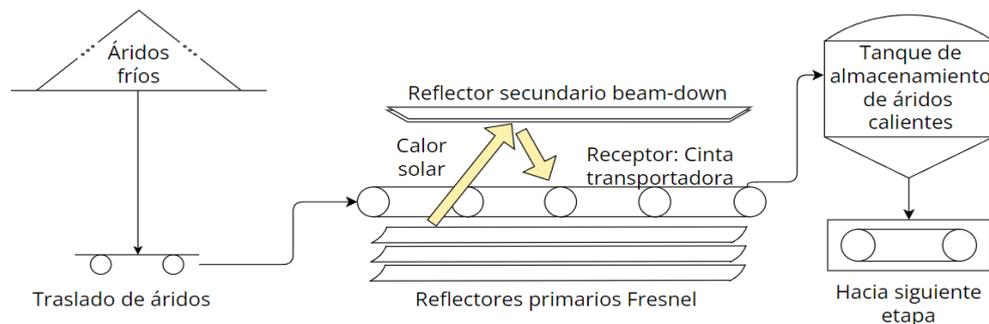
**Fluido caliente generado:** 15 - 270 °C

**€ Inversión y financiación:**

- Inversión de planta: 6.950.000 €
- Subvención: 2.430.000 €

El proceso comienza con los áridos fríos, que son transportados desde su estado inicial a la zona de calentamiento mediante una cinta transportadora. Los reflectores primarios Fresnel capturan y concentran la radiación solar hacia un punto focal, mientras que el reflector secundario beam-down redirige la radiación concentrada hacia el receptor ubicado en la parte inferior, calentando los áridos de manera directa y eficiente.

Una vez calentados, los áridos se almacenan en un tanque de 1.635 m<sup>3</sup> de arena, donde se retiene el calor hasta su utilización en la siguiente etapa del proceso industrial. El rango de temperatura del sistema oscila entre 15 y 270 °C, tanto en el campo solar como en la red de calor del cliente, garantizando un suministro eficiente y sostenible para los procesos industriales que requieren el calentamiento de materiales sólidos.



 <b>Aspectos técnicos</b>	Participación solar en la demanda total de calor de la fábrica	90%
	Procesos para los que se aprovecha el calor solar en la fabrica	Secado y calentamiento
	Tipo de Captadores	Fresnel con reflector beam-down
	Rendimiento Solar Estimado	30%
	Rendimiento Solar Estimado Especifico	No disponible
	Tipo y tamaño de almacenamiento de calor	En arena 1.635 m <sup>3</sup>
	Combustible sustituido	Fuel-oil
	Reducción de la Huella de Carbono estimada	90%
	Rango de temperatura de funcionamiento del campo solar	15 - 270 °C
	Rango de temperatura de funcionamiento de la red de calor del cliente	15 - 270 °C
 <b>Aspectos Económicos</b>	Modelo de Negocio utilizado en el proyecto	EPC y transferencia de planta
	Coste O&M	200.000 €
	Rentabilidad del proyecto TIR	6% (Dependiendo del precio final de venta de calor)
	Inversión total para la planta SHIP incluyendo almacenamiento e instalación	6.950.000 €
	Costes de inversión específicos	Información confidencial
	Importe total de la subvención	2.430.000 €

Este sistema solar térmico, al sustituir el uso de fuel-oil, ofrece una significativa reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo a una disminución del 90% en la huella de carbono. Al aprovechar la energía solar concentrada para calentar los áridos, se elimina la necesidad de combustibles fósiles, lo que no solo mejora la sostenibilidad del proceso industrial, sino que también optimiza el rendimiento energético y reduce el impacto ambiental asociado con el uso de energías convencionales. Este enfoque alineado con las prácticas de descarbonización permite a las industrias adoptar soluciones más limpias y eficientes.

8.1.11. Descarbonización en la producción de mezcla bituminosa caliente (Aire)



**Localización:**

Sevilla, España



**Tipo de Instalación:**

- Captadores cilindroparabólicos
- Captadores lineales Fresnel
- Receptor central
- Discos parabólicos

**Almacenamiento:** Si

**Características**

Tewer ha llevado a cabo un estudio de viabilidad para la implementación de un campo de heliostatos diseñado para calentar aire en un receptor especializado.

El aire calentado se emplea posteriormente en un quemador para el secado y calentamiento de áridos en un horno rotatorio. Los áridos calentados se almacenan en tanques aislantes, asegurando su disponibilidad para su uso según las necesidades del proceso.

Cliente y promotor



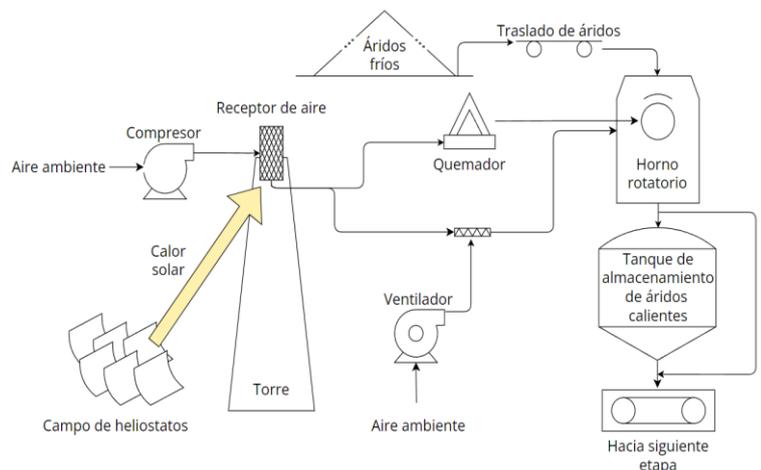
Empresa EPC



<b>Capacidad:</b>	11,93 MW	<b>Superficie total:</b>	9 ha
<b>Fluido térmico:</b>	Árido	<b>Superficie captación:</b>	29.909 m <sup>2</sup>
<b>Capacidad solar térmica instalada:</b>	2.508,1 m <sup>2</sup> /MW	<b>Capacidad de almacenamiento térmico</b>	355 MWh-th
<b>Aporte Solar neto:</b>	-	<b>Fluido caliente generado</b>	15 - 380 °C
<b>Inversión y financiación:</b>	-		

- Inversión de planta: 10.000.000 €

El proceso comienza con un campo de heliostatos que concentra la radiación solar hacia un receptor ubicado en una torre central, donde el calor se transfiere a una corriente de aire previamente comprimida. El aire caliente generado alimenta un horno rotatorio, donde se secan y calientan los áridos necesarios para la producción de mezcla bituminosa caliente.



Los áridos calentados se almacenan en un tanque aislante, lo que asegura su disponibilidad para las etapas posteriores del proceso según sea necesario. Un sistema mecánico traslada los áridos desde el tanque de almacenamiento hacia las fases siguientes.

Este diseño integral mejora la eficiencia de la transferencia térmica, reduce la dependencia de combustibles fósiles y fomenta una gestión energética más sostenible y eficaz en los procesos industriales.

Aspectos técnicos		Participación solar en la demanda total de calor de la fábrica	64%
		Procesos para los que se aprovecha el calor solar en la fabrica	Secado y calentamiento
		Tipo de Captadores	Heliostatos con receptor de aire
		Rendimiento Solar Estimado	45%
		Rendimiento Solar Estimado Especifico	No disponible
		Tipo y tamaño de almacenamiento de calor	En arena 1.635 m3
		Combustible sustituido	Fuel-oil
		Reducción de la Huella de Carbono estimada	64%
		Rango de temperatura de funcionamiento del campo solar	15 - 380 °C
		Rango de temperatura de funcionamiento de la red de calor del cliente	15 - 270 °C en árido
Aspectos Económicos		Modelo de Negocio utilizado en el proyecto	EPC y transferencia de planta
		Coste O&M	Información confidencial
		Rentabilidad del proyecto TIR	Información confidencial
		Inversión total para la planta SHIP incluyendo almacenamiento e instalación	10.000.000 €
		Costes de inversión específicos	Información confidencial
		Importe total de la subvención	Información confidencial

Este sistema solar térmico, diseñado para reducir parcialmente la dependencia de combustibles fósiles, permite una disminución estimada del 64% en la huella de carbono. A través de la concentración de la radiación solar mediante un campo de heliostatos y la transferencia de calor al aire en un receptor especializado, el sistema genera energía térmica que se utiliza en la producción de mezcla bituminosa caliente.

8.1.12. Descarbonización en la producción de mezcla bituminosa caliente (Aceite)



**Localización:**

Sevilla, España



**Tipo de Instalación:**

- Captadores cilindroparabólicos
- Captadores lineales Fresnel
- Receptor central
- Discos parabólicos

**Almacenamiento:** Si

Tewer está desarrollando una planta de energía solar térmica que emplea tecnología de concentradores cilindroparabólicos para calentar aceite térmico. Este fluido, una vez calentado, se almacena en un sistema de acumulación térmica y se utiliza estratégicamente para precalentar el aire que alimenta el quemador. Este proceso permite ajustar el suministro de calor solar según la demanda, optimizando las operaciones de calentamiento y secado de áridos en función de los requerimientos de producción.

**Características**

Cliente Promotor



Empresa EPC



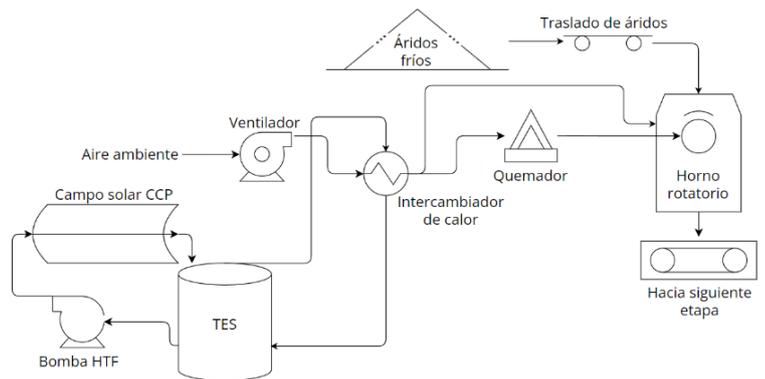
<b>Capacidad:</b>	2,8 MW	<b>Superficie total:</b>	1,47 ha
<b>Fluido térmico:</b>	Aceite térmico	<b>Superficie captación:</b>	4.901 m <sup>2</sup>
<b>Capacidad solar térmica instalada:</b>	69,74 m <sup>2</sup> /MW	<b>Capacidad de almacenamiento térmico</b>	28 MWh-th
<b>Aporte Solar neto:</b>	-	<b>Fluido caliente generado</b>	329 - 400 °C
<b>€ Inversión y financiación:</b>			

- Inversión total: 4.250.000 €
- Subvención: 1.490.000 €

El proceso comienza con la captación de energía solar a través de un campo de captadores cilindroparabólicos, los cuales concentran la radiación solar sobre el aceite térmico hasta alcanzar temperaturas de entre 329 y 400 °C.

Este fluido es bombeado hacia un sistema de almacenamiento térmico con una capacidad de 28 MWh-th, donde se acumula la energía solar capturada.

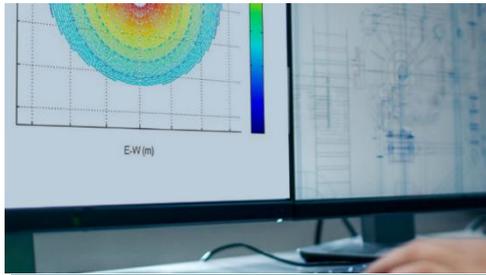
Posteriormente, el calor se transfiere al aire a través de un intercambiador de calor, con el aire siendo impulsado por un ventilador hacia el sistema. En caso de que la energía solar sea insuficiente, un quemador complementa el suministro de calor utilizando combustibles fósiles o alternativos. El aire caliente generado se emplea para calentar los áridos fríos en un horno rotatorio, donde alcanzan la temperatura necesaria para la producción de mezcla bituminosa caliente. Este enfoque permite reducir las emisiones de carbono, disminuir el consumo de combustibles fósiles y mejorar la sostenibilidad en el proceso de producción.



 <b>Aspectos técnicos</b>	Participación solar en la demanda total de calor de la fábrica	50%
	Procesos para los que se aprovecha el calor solar en la fabrica	Secado y calentamiento
	Tipo de Captadores	Cilindroparabólico
	Rendimiento Solar Estimado	72,5%
	Rendimiento Solar Estimado Especifico	No disponible
	Tipo y tamaño de almacenamiento de calor	Tanques de fluido
	Combustible sustituido	Fuel-oil
	Reducción de la Huella de Carbono estimada	50%
	Rango de temperatura de funcionamiento del campo solar	329 - 400 °C
	Rango de temperatura de funcionamiento de la red de calor del cliente	25 - 305 °C
 <b>Aspectos Económicos</b>	Modelo de Negocio utilizado en el proyecto	EPC y transferencia de planta
	Coste O&M	115.000 €
	Rentabilidad del proyecto TIR	Estimado 8% (depende del precio venta del calor)
	Inversión total para la planta SHIP incluyendo almacenamiento e instalación	4.250.000 €
	Costes de inversión específicos	Información confidencial
	Importe total de la subvención	1.490.000 €

La integración de este proceso en la producción de mezcla bituminosa caliente representa un avance clave en la estrategia de descarbonización, ya que permitiría una reducción estimada del 50% en la huella de carbono. Esto se logra al disminuir significativamente el uso de combustibles fósiles en el proceso, sustituyéndolos por energía solar térmica, una fuente limpia y renovable.

8.1.13. Estudio de viabilidad de reciclado de viruta de la industria relojera



**Localización:**



**Tipo de Instalación:**

- Captadores cilindroparabólicos
- Captadores lineales Fresnel
- Receptor central
- Discos parabólicos.
- Otros

**Almacenamiento:** No

**Características**

Tewer colabora en un proyecto experimental de horno solar que utiliza un heliostato para redirigir la radiación solar hacia un concentrador secundario.

Este concentrador intensifica el calor en un punto focal donde se coloca el metal a fundir, logrando aprovechar la energía solar para el proceso de fusión. El proyecto está en fase experimental, con Tewer participando junto al cliente y al desarrollador principal de la tecnología para optimizar esta solución innovadora.

Cliente y promotor

Confidencial

Empresa EPC



**Capacidad:**

Prototipo  
1 kW



**Superficie total:**

N/A



**Fluido térmico:**

-



**Superficie captación:**

30 m<sup>2</sup> heliostato  
+ 12 m<sup>2</sup> concentrador



**Capacidad solar térmica instalada:**

-



**Capacidad de almacenamiento térmico**

N/A



**Aporte Solar neto:**

-



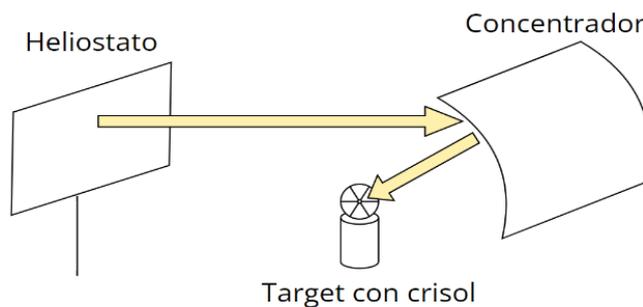
**Fluido caliente generado**

15 – 1.530 °C



**Inversión y financiación:**

- Información Confidencial



El proceso en estudio consiste en emplear un sistema de concentración solar térmica adaptado para aplicaciones industriales de alta intensidad, como el reciclado de virutas de la industria relojera. Este sistema utiliza un heliostato para captar y redirigir la radiación solar hacia un concentrador parabólico, que enfoca la energía en un crisol.

Allí, las virutas metálicas se funden a temperaturas entre 15 °C y 1530 °C, recuperando materiales valiosos como acero inoxidable, latón o titanio. Con una superficie de captación de 42 m<sup>2</sup> (30 m<sup>2</sup> del heliostato y 12 m<sup>2</sup> del concentrador), el sistema elimina la necesidad de combustibles fósiles, ofreciendo un proceso eficiente y sostenible que minimiza las emisiones de carbono asociadas a la recuperación de metales.

 <b>Aspectos técnicos</b>	Participación solar en la demanda total de calor de la fábrica	No disponible
	Procesos para los que se aprovecha el calor solar en la fabrica	Fundición de metales
	Tipo de Captadores	Heliostato con concentrador secundario
	Rendimiento Solar Estimado	No disponible
	Rendimiento Solar Estimado Especifico	No disponible
	Tipo y tamaño de almacenamiento de calor	No disponible
	Combustible sustituido	No disponible
	Reducción de la Huella de Carbono estimada	No disponible
	Rango de temperatura de funcionamiento del campo solar	15 – 1.530 °C
	Rango de temperatura de funcionamiento de la red de calor del cliente	15 – 1.530 °C
 <b>Aspectos Económicos</b>	Modelo de Negocio utilizado en el proyecto	Información confidencial
	Coste O&M	Información confidencial
	Rentabilidad del proyecto TIR	Información confidencial
	Inversión total para la planta SHIP incluyendo almacenamiento e instalación	Información confidencial
	Costes de inversión específicos	Información confidencial
	Importe total de la subvención	Información confidencial

Implementar energía solar térmica en el reciclado de virutas no solo refuerza el compromiso ambiental de la industria relojera, sino que también optimiza el uso de recursos naturales. Al sustituir fuentes de energía tradicionales, esta tecnología reduce costes operativos y la dependencia de combustibles fósiles, impulsando un modelo de producción circular que integra innovación y sostenibilidad en un sector conocido por su precisión y alto valor añadido.

### 8.1.14. Energía solar térmica de concentración para instalación de adhesivos



**Localización:**

Turnhout, Bélgica



**Tipo de Instalación:**

- Captadores cilindroparabólicos
- Captadores lineales Fresnel
- Receptor central
- Discos parabólicos

**Almacenamiento:** Si

**Puesta en Marcha:** 09/2023

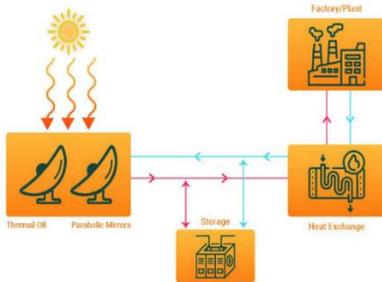
**Características**

<b>Ciente</b>		<b>Promotor, operador y Empresa EPC</b>	
<b>Capacidad:</b>	2,5 MW	<b>Superficie total:</b>	Aprox. 1 ha
<b>Fluido térmico:</b>	Aceite siliconado (Helisol 5A)	<b>Superficie captación:</b>	5.540
<b>Capacidad solar térmica instalada:</b>	2.216 m <sup>2</sup> /MW	<b>Capacidad de almacenamiento térmico</b>	5 MWh-th
<b>Aporte Solar neto:</b>	10%	<b>Fluido caliente generado</b>	270-380 °C
<b>€ Inversión y financiación:</b>			

- Información Confidencial

El proyecto emplea captadores cilindroparabólicos para suministrar calor a los hornos de secado en el recubrimiento de adhesivos.

Participan Azteq, especialista en energía solar térmica de concentración; ENERGYNEST, con su sistema de almacenamiento térmico ThermalBattery™; y Campina Energie, que apoyó la financiación del proyecto.



La instalación está diseñada para generar un aporte térmico anual equivalente a 2,3 GWh de consumo de gas, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero de la planta en un promedio del 9% respecto a los niveles actuales. Durante los meses de verano y los periodos de mayor radiación solar, el sistema podrá satisfacer hasta el 100% de la demanda de calor de la fábrica.

La planta termosolar, desarrollada por Azteq, concentra la radiación solar directa en un tubo colector con un fluido térmico, como el aceite térmico, y almacena la energía captada en la ThermalBattery™ de ENERGYNEST, permitiendo un suministro de calor renovable bajo demanda. Combinada con seis módulos de almacenamiento térmico, esta tecnología garantiza la entrega continua de energía térmica a alta temperatura, tanto de día como de noche. Además, el Balance of Plant (BoP), desarrollado por AURA GmbH & Co. KG, optimiza la transferencia de calor entre las fuentes de generación y los puntos de consumo.

El calor generado alimenta los hornos de secado utilizados en el recubrimiento de productos adhesivos fabricados en la planta, los cuales tienen aplicaciones en sectores como la automoción, la construcción, los dispositivos médicos y el cuidado personal, fomentando una producción más sostenible. Este proyecto es el resultado de la colaboración entre Azteq, especializada en energía solar térmica de concentración (ESTC); ENERGYNEST, proveedor de almacenamiento térmico; y Campina Energie, grupo local encargado de la promoción y financiación.

Aspectos técnicos		Participación solar en la demanda total de calor de la fábrica	Aprox. 10% de calor de media anual, pudiéndose alcanzar el 100% de cobertura en verano
		Procesos para los que se aprovecha el calor solar en la fabrica	Horno secado
		Tipo de captadores	Captadores cilindroparabólicos
		Rendimiento solar estimado	No disponible
		Rendimiento solar estimado especifico	No disponible
		Tipo y tamaño de almacenamiento de calor	ThermalBattery™ de ENERGYNEST, 5 MWh
		Combustible sustituido	Gas natural
		Reducción de la huella de carbono estimada	Aprox. 500 ton CO <sub>2</sub> eq/ año
		Rango de temperatura de funcionamiento del campo solar	270-380 °C
		Rango de temperatura de funcionamiento de la red de calor del cliente	260-300 °C
Aspectos Económicos		Modelo de negocio utilizado en el proyecto	Venta de calor como servicio (Haas)
		Coste O&M	Información confidencial
		Rentabilidad del proyecto TIR	Información confidencial
		Inversión total para la planta SHIP incluyendo almacenamiento e instalación	Información confidencial
		Costes de inversión específicos	Información confidencial
		Importe total de la subvención	Información confidencial

La financiación se obtuvo a través de Campina Energie, una organización que representa a más de 1.000 residentes de Turnhout y que participa en proyectos de energía verde. La instalación de baterías térmicas de ENERGYNEST recibió apoyo del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea. La plataforma de energía solar térmica de concentración (ESTC) de Azteq está parcialmente financiada por el Gobierno Flamenco mediante la convocatoria Green Heat.



El sistema Balance of Plant (BoP) fue desarrollado en el marco del proyecto de investigación #MODULUS, cofinanciado parcialmente por el Ministerio Alemán de Asuntos Económicos y Acción por el Clima.

### 8.1.15. Energía solar térmica de concentración para instalación de Betún Asfáltico



**Localización:**

Cádiz, España



**Tipo de Instalación:**

- Captadores cilindroparabólicos
- Captadores lineales Fresnel
- Receptor central
- Discos parabólicos

**Almacenamiento:** Si

El proyecto incluye una instalación solar de concentración y almacenamiento térmico para calentar aceite térmico a 240 °C, disminuyendo el consumo de gas natural en las calderas de la planta. ENERGYNEST actúa como contratista llave en mano con su sistema de almacenamiento ThermalBattery™.

El campo solar y el almacenamiento operan en un circuito cerrado de aceite térmico con Helisol XLP, transfiriendo calor al sistema principal del cliente a través de un intercambiador de aceite-aceite.

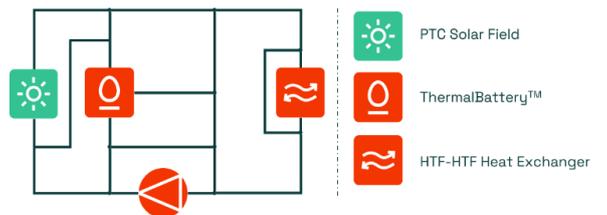
**Características**

<b>Cliente</b>	Industrial del sector del betún asfáltico	<b>Promotor, operador y Empresa EPC</b>	ENERGYNEST
<b>Capacidad:</b>	3MW	<b>Superficie total:</b>	Aprox. 1 ha
<b>Fluido térmico:</b>	Aceite siliconado (Helisol XLP)	<b>Superficie captación:</b>	5.262 m <sup>2</sup>
<b>Capacidad solar térmica instalada:</b>	1.754 m <sup>2</sup> /MW	<b>Capacidad de almacenamiento térmico</b>	3,6 MWh
<b>Aporte Solar neto:</b>	Aprox. 40% de calor de media anual	<b>Fluido caliente generado</b>	215-350 °C
<b>€ Inversión y financiación:</b>	- Inversión total de la planta SHIP incluyendo almacenamiento e instalación: 3-4 M€		

El proceso inicia con la captación de la radiación solar directa mediante un campo solar de concentración, donde los espejos parabólicos enfocan la luz solar en un tubo colector. Este tubo contiene el fluido de absorción, el aceite siliconado Helisol XLP, que se calienta a través de la concentración de energía solar.

La energía térmica generada se transfiere a través de un intercambiador de calor al proceso de producción, donde se utiliza para el calentamiento de betún. El betún, un componente esencial en la industria de la construcción y la infraestructura, requiere ser calentado para ser utilizado en procesos como la fabricación de carreteras, el sellado de juntas y otros procedimientos industriales.

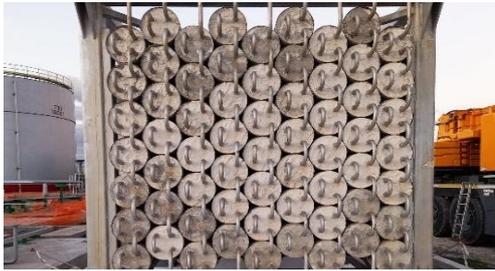
Además, una parte de la energía térmica generada es almacenada mediante el sistema ThermalBattery™ de ENERGYNEST, lo que permite asegurar un suministro constante de energía incluso durante períodos con menor radiación solar o en horarios nocturnos.



 Aspectos técnicos	Participación solar en la demanda total de calor de la fábrica	Aprox. 40% de calor de media anual
	Procesos para los que se aprovecha el calor solar en la fabrica	Calentamiento del betún
	Tipo de Captadores	Captadores cilindroparabólicos HYT5770
	Rendimiento Solar Estimado	No disponible
	Rendimiento Solar Estimado Especifico	No disponible
	Tipo y tamaño de almacenamiento de calor	ThermalBattery™ de ENERGYNEST, 3.6 MWh
	Combustible sustituido	Gas natural
	Reducción de la Huella de Carbono estimada	Aprox. 1200 ton CO <sub>2</sub> eq/ año
	Rango de temperatura de funcionamiento del campo solar	215-350 °C
	Rango de temperatura de funcionamiento de la red de calor del cliente	200-240 °C
 Aspectos Económicos	Modelo de Negocio utilizado en el proyecto	Venta de calor como servicio (HaaS)
	Coste O&M	Información confidencial
	Rentabilidad del proyecto TIR	Información confidencial
	Inversión total para la planta SHIP incluyendo almacenamiento e instalación	3-4 M€
	Costes de inversión específicos	Información confidencial
	Importe total de la subvención	Información confidencial

Este proyecto permite una reducción aproximada de 1.200 toneladas de CO<sub>2</sub>eq al año, gracias a la integración de la instalación solar de concentración y el sistema de almacenamiento térmico. Al sustituir el uso de gas natural en las calderas de la planta con energía térmica generada de forma sostenible, se contribuye significativamente a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero.

### 8.1.16. Energía solar térmica de concentración para tratamientos de aceites



**Localización:**  
Gela, Italia



**Tipo de Instalación:**

- Captadores cilindroparabólicos
- Captadores lineales Fresnel
- Receptor central
- Discos parabólicos

**Almacenamiento:** Si

El proyecto utiliza un sistema solar de concentración con tecnología patentada de Eni y una turbina de vapor para generar electricidad. Integra almacenamiento térmico de ENERGYNEST con hormigón de alto rendimiento para producir vapor renovable continuo durante el día y la noche.

El objetivo es sustituir parcialmente el vapor generado por combustibles fósiles, promoviendo el autoconsumo eléctrico.

**Características**

Ciente, Promotor y operador

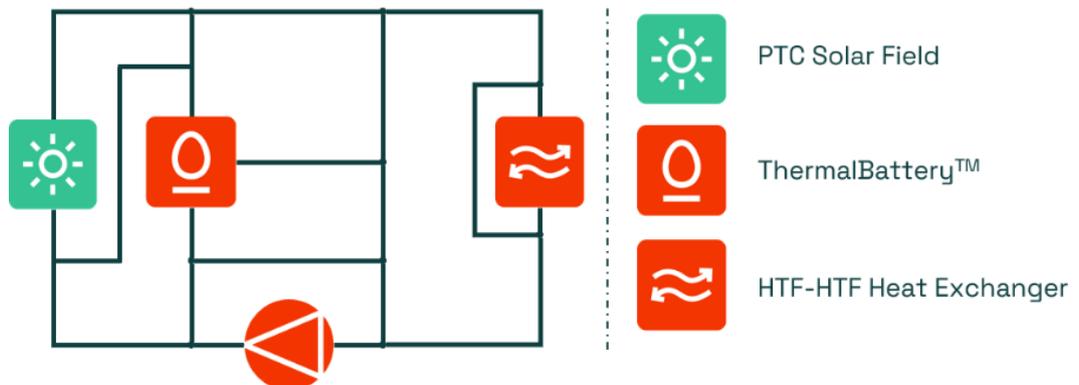


<b>Capacidad:</b>	<1MW	<b>Superficie total:</b>	-
<b>Fluido térmico:</b>	Marlotherm SH	<b>Superficie captación:</b>	-
<b>Capacidad solar térmica instalada:</b>	-	<b>Capacidad de almacenamiento térmico</b>	2 MWh
<b>Aporte Solar neto:</b>	-	<b>Fluido caliente generado</b>	Por encima de 300 °C
<b>Inversión y financiación:</b>	-		

- Información confidencial

El proceso se basa en un sistema de energía solar de concentración que utiliza la tecnología patentada de Eni junto con una turbina de vapor para la producción de electricidad mediante una microturbina. Se integra un sistema de almacenamiento térmico patentado de ENERGYNEST, desarrollado con hormigón de alto rendimiento, para gestionar el calor de manera eficiente.

Este sistema se aplica al proceso industrial de tratamiento de aceite, donde el vapor renovable generado es utilizado para optimizar el proceso de producción. Durante el día y durante varias horas de la noche, el sistema proporciona vapor continuo, sustituyendo parcialmente el vapor producido con combustibles fósiles, lo que mejora el autoconsumo eléctrico de la instalación y la sostenibilidad del proceso industrial.



Aspectos técnicos		Participación solar en la demanda total de calor de la fábrica	No disponible
		Procesos para los que se aprovecha el calor solar en la fabrica	Proceso de tratamiento de aceite y producción de electricidad por medio de una microturbina
		Tipo de Captadores	Proprietary ENI technology
		Rendimiento Solar Estimado	No disponible
		Rendimiento Solar Estimado Especifico	No disponible
		Tipo y tamaño de almacenamiento de calor	ThermalBattery™ de ENERGYNEST, 2 MWh
		Combustible sustituido	Gas natural
		Reducción de la Huella de Carbono estimada	Aprox. 60 ton CO <sub>2</sub> eq/ año
		Rango de temperatura de funcionamiento del campo solar	Por encima de 300 °C
		Rango de temperatura de funcionamiento de la red de calor del cliente	No disponible
Aspectos Económicos		Modelo de Negocio utilizado en el proyecto	Transaccional
		Coste O&M	Información confidencial
		Rentabilidad del proyecto TIR	Información confidencial
		Inversión total para la planta SHIP incluyendo almacenamiento e instalación	Información confidencial
		Costes de inversión específicos	Información confidencial
		Importe total de la subvención	Información confidencial

Este proyecto permite una reducción aproximada de 60 toneladas de CO<sub>2</sub>eq al año, gracias a la integración de la instalación solar de concentración y el sistema de almacenamiento térmico. Al sustituir el uso de gas natural para el proceso de tratamiento de aceite y producción de electricidad por medio de una microturbina.

### 8.1.17. Planta de energía solar térmica de concentración de la fábrica de Givaudan



**Localización:**

Barcelona, España



**Tipo de Instalación:**

- Captadores cilindroparabólicos
- Captadores lineales Fresnel
- Receptor central
- Discos parabólicos

**Almacenamiento:** Si

**Puesta en Marcha:** 2018

**Características**

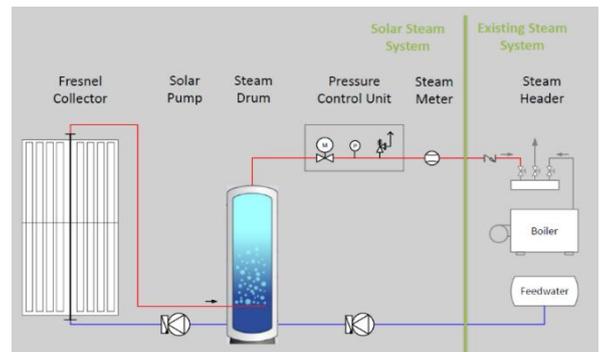
Ecotherm ha desarrollado una instalación de energía solar térmica con concentradores lineales Fresnel y generación directa de vapor, como parte del proyecto H2020 Hycoll (2018-2022). Este sistema se integra a la red de vapor de 12 y 20 bares de Givaudan, ofreciendo una solución sostenible para satisfacer su demanda energética. La tecnología optimiza el uso de calor solar concentrado en procesos industriales, reforzando el compromiso con la descarbonización y la eficiencia energética.

Cliente **Givaudan** Operador **ecotherm**

<b>Capacidad:</b>	0,45 MW	<b>Superficie total:</b>	1.500 m <sup>2</sup>
<b>Fluido térmico:</b>	Agua-Vapor	<b>Superficie captación:</b>	800 m <sup>2</sup>
<b>Capacidad solar térmica instalada:</b>	1.750 m <sup>2</sup> /MW	<b>Capacidad de almacenamiento térmico</b>	N/A
<b>Aporte Solar neto:</b>		<b>Fluido caliente generado</b>	180-200°C
<b>Inversión y financiación:</b>			

- Inversión total: 450.000 €
- Subvención H2020

El proceso para integrar energía solar térmica en un proceso industrial comienza con la captación de radiación solar a través de un campo de captadores lineales Fresnel, capaces de alcanzar temperaturas entre 180-200°C. El calor generado es transferido mediante una bomba solar al sistema de almacenamiento térmico, donde se almacena temporalmente en forma de vapor. Posteriormente, el vapor es regulado mediante una unidad de control de presión y un medidor de vapor para asegurar su funcionamiento óptimo y seguro.



El sistema utiliza agua de alimentación como insumo principal, siendo aplicado en procesos industriales como los reactores. Aunque la participación solar en la demanda total de calor es menor al 5%, el sistema reemplaza parcialmente el uso de gas natural, aprovechando un rendimiento solar anual de hasta el 30% y un rendimiento específico de 480 kWh/m<sup>2</sup>-año. Este proceso optimiza el uso energético, reduce las emisiones al sustituir combustibles fósiles y se ajusta al rango de funcionamiento de la red de calor del cliente, que opera con vapor a 20 bares de presión.

Aspectos técnicos		Participación solar en la demanda total de calor de la fábrica	< 5%
		Procesos para los que se aprovecha el calor solar en la fabrica	Reactores
		Tipo de Captadores	LFC
		Rendimiento Solar Estimado	30% eficiencia anual & 60% eficiencia pico
		Rendimiento Solar Estimado Especifico	480 kWh/m <sup>2</sup> .año
		Tipo y tamaño de almacenamiento de calor	N/A
		Combustible sustituido	Gas Natural
		Reducción de la Huella de Carbono estimada	No disponible
		Rango de temperatura de funcionamiento del campo solar	180-200°C
		Rango de temperatura de funcionamiento de la red de calor del cliente	20 bar vapor
Aspectos Económicos	€	Modelo de Negocio utilizado en el proyecto	H2020
		Coste O&M	6.000 €/año
		Rentabilidad del proyecto TIR	Información confidencial
		Inversión total para la planta SHIP incluyendo almacenamiento e instalación	450.000 €
		Costes de inversión específicos	450.000 €
		Importe total de la subvención	Información confidencial





# 9. Herramienta de simulación

## 9.1. Descripción de la herramienta de cálculo

Como complemento a esta Guía, se ha desarrollado una herramienta de cálculo diseñada para facilitar un dimensionado preliminar y estimar la contribución solar al proceso energético. Esta herramienta permite obtener resultados técnicos y financieros a partir de los parámetros seleccionados por el usuario, brindando una aproximación inicial al análisis del proyecto.



### Guía de energía solar térmica de concentración para procesos industriales

Simulación de viabilidad

**Legenda**

Las celdas de color gris son aquellas que el usuario puede modificar para ingresar los parámetros que mejor se ajusten a su proceso industrial. Las celdas de color azul no deben ser modificadas, ya que únicamente muestran información de referencia o resultados.

**DATOS GENERALES**

Nombre del proyecto \_\_\_\_\_  
 Empresa \_\_\_\_\_  
 Autor de la simulación \_\_\_\_\_  
 Teléfono \_\_\_\_\_ Email \_\_\_\_\_

**PARÁMETROS EMPRESAS**

	Possible unidades/ Comentario	Unidad referencia	Definir unidad a utilizar	Completar	
Localidad					Sevilla
Superficie disponible	m <sup>2</sup> , ha	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>		65000
Orientación	: refiere a la posición o alineación de equip				90
Solución no descarbonizada previa					Gas Para proyectar el precio del gas

**PARÁMETROS DE PROCESOS**

	Possible unidades	Unidad referencia	Definir unidad a utilizar	Completar	
Tipo de fluido					Vapor
Potencia Nominal		kW			15.000
Temperatura fría del proceso	°C, °K	°C	°C		115
Temperatura caliente del proceso	°C, °K	°C	°C		140
Almacenamiento Térmico					Se desea agregar Almacenamiento

**PERFIL DE DEMANDA**

¿Se incluirá información sobre la demanda anual del cliente, o se prefiere continuar con el perfil preestablecido?

Datos del Cliente  Por favor, complete la hoja 'Demanda de Carga' con las demandas de kW del cliente para cada hora de carga.

No debe completar el perfil de demanda que se indica a continuación.

**Perfil de demanda**  El usuario puede ingresar los datos de acuerdo con su perfil de demanda utilizando la información proporcionada a continuación o seleccionar un perfil de demanda predeterminado.

**Completar**  Producción de Turno Único (8 horas) Perfil de demanda caracterizado por picos de producción en turnos de 8 horas, para cubrir ciclos de alta demanda en periodos cortos.

**Perfil de carga diario como % de carga máxima**

Marca como porcentaje de carga máxima	1	2	3	4
Carga asignada a la simulación	10%	10%	10%	10%
Aplicable solo a cargas manuales del perfil de demanda.	100%	20%	20%	20%

**Perfil de carga semanal como % de carga máxima**

Marca como porcentaje de carga máxima	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves
Carga asignada a la simulación	100%	100%	100%	100%
Aplicable solo a cargas manuales del perfil de demanda.	100%	100%	100%	100%

Figura 38. Herramienta de Simulación.

La herramienta ha sido diseñada para analizar cinco tipos de tecnologías de energía solar de concentración:

- Captadores cilindroparábolicos >20.
- Captadores cilindroparábolicos <20.
- Captadores de disco parabólico.
- Captadores lineales Fresnel.

- Receptores centrales.

Al operar, combina datos proporcionados por el usuario con parámetros predefinidos para cinco localidades representativas de España, seleccionadas en función de sus niveles de radiación solar. A partir de esta información, la herramienta genera estimaciones técnicas detalladas que abarcan los costes de inversión inicial (CAPEX), los costes operativos (OPEX), las métricas financieras clave asociadas al proyecto y la capacidad de almacenamiento necesaria para optimizar el proceso.

El análisis incorpora perfiles de demanda energética personalizados, que pueden definirse mediante dos opciones:

- **Selección de perfiles predefinidos:** La herramienta ofrece perfiles configurados que representan diferentes tipos de procesos industriales y patrones de consumo horarios.
- **Personalización del perfil de demanda:** El usuario puede optar por ingresar un perfil de demanda específico seleccionando la opción “Datos de Cliente” en el apartado de simulación “Perfil de demanda”. En este caso, deberá rellenar la hoja correspondiente con los valores de demanda energética (kW) para cada hora de carga.

En caso de no disponer de datos en kW o de que los perfiles predefinidos no se ajusten a su situación, el usuario puede utilizar la opción “Datos específicos del perfil de la empresa”. Aquí se requiere introducir valores de carga máxima diaria, semanal y mensual en los campos habilitados para ello.

La simulación considera cinco ubicaciones geográficas clave en España, elegidas por sus niveles de radiación solar, según los mapas oficiales. Esto permite una evaluación preliminar representativa para distintos escenarios climáticos y operativos.

## 9.2. Consideraciones y Limitaciones

Esta herramienta se ha elaborado a partir de información de carácter general (estimaciones de coste de materias primas, evolución de inflación, etc.), así como información específica de determinados casos de estudio. Esta herramienta no constituye un servicio o asesoramiento profesional. Antes de tomar cualquier decisión o adoptar cualquier medida que pueda afectar a su situación financiera o a su negocio, debe consultar con un asesor profesional cualificado. IDAE o Protermosolar no serán en ningún caso responsables de las pérdidas sufridas por cualquier persona o empresa que actúe basándose en esta herramienta.





# 10. Memoria Técnica

## 10.1. Definiciones y terminología

**Ángulo de incidencia:** ángulo entre una línea normal a la superficie del módulo y una línea trazada directamente hacia el sol desde la superficie del módulo.

**ANI:** Radiancia disponible para un captador. Se calcula a partir del DNI multiplicado con el ángulo de incidencia.

**Año meteorológico típico (TMY):** recopilación de datos climatológicos representativos para una localidad específica, que están estructurados en valores horarios de diferentes parámetros meteorológicos por un periodo de un año. Los valores son obtenidos en base a una metodología de selección que utiliza los datos históricos registrados en esa localidad, durante varios años.

**Apertura del captador:** área máxima del captador por la que penetra la radiación solar perpendicular al captador.

**Balance de planta:** conjunto de equipos que permiten el funcionamiento de la planta. El balance de planta suele incluir el sistema de aire presurizado, sistema de agua potable, el sistema de nitrógeno, el sistema de disipación del calor, etc.

**Campo solar:** conjunto de lazos dispuestos en paralelos entre la entrada del campo solar y la salida del campo solar.

**Capacidad de almacenamiento térmico:** capacidad máxima de acumulación térmica, en MWth, que puede suministrar el sistema de almacenamiento en una descarga completa desde unas determinadas condiciones iniciales.

**Capacidad nominal de almacenamiento:** Se refiere a la capacidad total de un sistema de almacenamiento térmico cuando se descarga completamente, partiendo de condiciones iniciales en las que el nivel de almacenamiento es del 100%.

**Captador o seguidor solar:** conjunto de módulos que forman el seguidor solar.

**Controlador local:** controlador localizado en cada captador para el seguimiento solar.

**Controlador supervisor de campo (FSC):** sistema de control centralizado del campo solar que comunica y supervisa cada controlador local y con el sistema de control distribuido.

**Coste nivelado del calor (LCOH):** es el coste actualizado de la generación de calor considerando tanto costes de inversión como de operación y mantenimiento, dividido entre la energía térmica generada durante su ciclo de vida.

**Desenfoque:** actuación de los seguidores solares para reducir la introducción de calor solar dentro del sistema que no se necesite o que el sistema no es capaz de asimilar. Estas actuaciones se deben a control de temperatura, sobredimensionamiento del campo solar o saturación del sistema de almacenamiento térmico.

**DHI:** Radiación horizontal difusa.

**DNI:** Radiación normal directa.

**Eficiencia del Captador:** ratio entre la energía útil recogida del captador y la radiación disponible en el captador, la cual comprende la eficiencia óptica y la eficiencia térmica del receptor.

**Eficiencia óptica pico del captador:** ratio entre la energía útil recogida del captador en condiciones ideales y la radiación disponible en el captador.

**Eficiencia térmica del sistema:** ratio entre la energía entregada de la instalación y la radiación disponible en el Captador.

**Energía útil recogida:** energía térmica calculada como el caudal másico multiplicado por la diferencia de entalpia entre entrada y salida del sistema.

**EPC:** contratista externo que se dedica a la Ingeniería, Compra y Construcción del proyecto. Del inglés *Engineering, Procurement and Construction*.

**Factor de concentración:** ratio entre la apertura del captador y la superficie del receptor.

**Factor de limpieza:** ratio entre la reflectividad en condiciones de operaciones normales y la reflectividad en condiciones ideales (perfectamente limpio).

**Fluido de transferencia de calor (HTF):** fluido que transfiere el calor desde el campo solar hacia el sistema de almacenamiento térmico y la instalación. El HTF puede ser agua, aceite térmico, sales fundidas, aire, CO<sub>2</sub>, vapor, etc.

**Fracción solar:** cantidad de energía solar obtenida a través de la tecnología solar utilizada, dividido por el total de la energía requerida.

**GHI:** Radiancia horizontal global.

**Horas de almacenamiento térmico:** corresponde con la energía disponible en el sistema de almacenamiento térmico dividida entre la potencia nominal de la instalación.

**Lazo:** conjuntos de captadores dispuesto en serie entre la entrada del campo solar y la salida del campo solar.

**Modificador del ángulo incidente (IAM):** degradación de la eficiencia óptica para ángulos de incidencia normalizados por la eficiencia óptica en incidencia normal. Generalmente se escribe como el producto de una función transversal y longitudinal.

**Módulo:** fracción mínima indivisible del seguidor solar.

**Pendiente del campo solar:** dirección que se define a lo largo del eje de rotación del seguidor solar.

**Potencia nominal de carga:** Potencia térmica suministrada al almacenamiento en condiciones nominales del fluido caloportador en un proceso de carga (caudales y temperatura).

**Potencia nominal de descarga:** Potencia térmica suministrada por el sistema de almacenamiento en condiciones nominales de fluido caloportador en un proceso de descarga (caudales y temperatura).

**Potencia Térmica:** potencia nominal de diseño de la instalación.

**Punto de ajuste de temperatura del campo solar:** temperatura máxima deseada por parte del campo solar.

**Receptor de Torre:** componente del captador de torre central que utiliza espejos o heliostatos para concentrar la luz solar en un punto focal en la parte superior de una torre.

**Receptor:** parte del captador en la cual se concentran los rayos del sol.

**Reflectividad:** fracción de radiación incidente reflejada por la superficie reflectante.

**Sistema de almacenamiento:** conjunto de equipos mecánicos, eléctricos y sustancias que permiten almacenar parte o la totalidad de la energía captada por el campo solar para su posterior uso; permitiendo desvincular, parcial o totalmente, la producción de energía térmica de la intensidad del recurso solar.

**Sistema de control distribuido (DCS):** sistema de control que gestiona el campo solar, el sistema de almacenamiento, la instalación y el balance de planta.

**Superficie del campo solar:** área del terreno cubierta por el conjunto de captadores.

**TES:** almacenamiento de energía térmica.

## 10.2. Tecnología solar térmica de concentración

### 10.2.1. Aspectos generales

La tecnología solar térmica de concentración consiste, con carácter general, en el empleo de la radiación solar incidente sobre la superficie terrestre para el calentamiento de un fluido. Este calor puede utilizarse posteriormente en un proceso industrial térmico o, en su caso, hacerse pasar posteriormente por una etapa de turbina para la generación de electricidad. Adicionalmente, existen casos en los que no media un fluido intermedio (por ejemplo, es el caso del calentamiento y secado de materiales en los cuales la radiación directa aporta la energía necesaria sin pasar por el fluido intermedio).

Tal y como se pone de manifiesto en apartados siguientes de la presente guía, la tecnología solar térmica de concentración tiene un largo recorrido en la industria, con numerosos ejemplos prácticos de éxito.

En este sentido, la tecnología solar térmica de concentración analizada en la presente guía tiene como objetivo último la generación de calor solar industrial, también conocida como *Solar Heat for Industrial Processes* (SHIP por sus siglas en inglés). Este proceso aprovecha la energía solar térmica mediante captadores solares, que capturan la radiación solar y la convierten en calor utilizable para aplicaciones industriales como la producción de vapor, agua caliente, secado, y otros procesos que requieren temperaturas elevadas.

Los sistemas SHIP se componen típicamente de campos solares, sistemas de almacenamiento térmico y sistemas de distribución de calor:

- Los captadores solares capturan la energía solar y la transfieren, con carácter general, a un fluido térmico, como agua o aceite térmico. Adicionalmente, el calor puede ser traspasado a un gas (por ejemplo, aire).
- Este fluido caliente se almacena en tanques térmicos para su uso posterior, lo que permite una operación continua incluso cuando no hay sol directo. El almacenamiento también puede realizarse en un medio sólido.
- A continuación, este calor almacenado se utiliza para alimentar los procesos industriales, reduciendo así la dependencia de combustibles fósiles y disminuyendo las emisiones de carbono asociadas en comparación con las soluciones tradicionalmente adoptadas en la industria. El proceso se caracteriza por su alto rendimiento térmico, en comparación con otras soluciones, alcanzando rendimientos entre el 55% y 70%.

En estos sistemas, es preciso distinguir entre sistemas de calentamiento directo e indirecto. Particularmente, en los sistemas de calentamiento directo se aplica el calor solar directamente al proceso, sin necesidad de las etapas intermedias.

En las Figura 1 y Figura 39 se muestran esquemas tipo de sistemas SHIP en aplicaciones industriales.

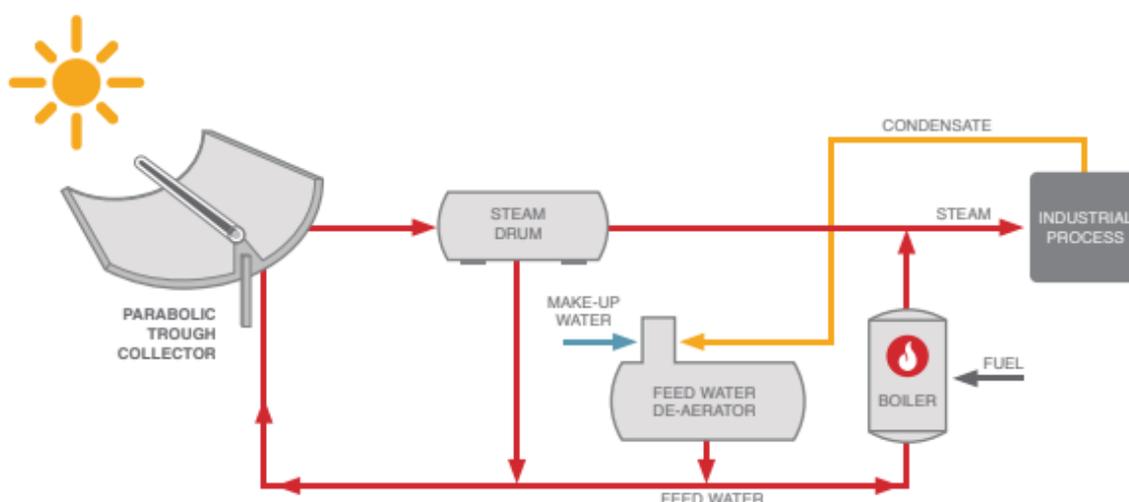


Figura 39. Aplicación de calor solar para procesos industriales (Solar Payback, 2017).

Un sistema SHIP incorpora típicamente una unidad de almacenamiento de calor, aumentando así el periodo del día en el que se suministra calor compensando las variaciones del recurso solar. De esta forma, además de compensar las variaciones del recurso solar el almacenamiento permite casar mejor la demanda de calor por la industria con la entrega de la planta haciendo que la descarbonización y rentabilidad de la instalación aumente. Los sistemas SHIP poseen dos características fundamentales: su tamaño, que viene determinado por la energía consumida, y el requisito de integración con el sistema energético convencional utilizado en el proceso. Estos sistemas se pueden clasificar en función de los siguientes criterios (Rodríguez, Díaz, Baranda, Ángel, & Mayo, 2024 ):

Criterio	Opciones
Fluido caloportador	Vapor
	Líquido (agua, aceite térmico)
	Aire
Circuito captador	Con recirculación
	Sin recirculación
Sistema de calefacción	Directo
	Indirecto
Sistema auxiliar	Sin sistema auxiliar
	Serie
	Paralelo
Almacenamiento	Con acumulación
	Sin acumulación
Otros	Calentamiento directo de sólidos

Tabla 9. Criterios de clasificación para sistemas SHIP (Rodríguez, Díaz, Baranda, Ángel, & Mayo, 2024 )

La obtención de calor en un sistema solar térmico de concentración puede realizarse a partir de diferentes tecnologías, entre las que destacan las siguientes, las cuales se describen en apartados posteriores:

- Captadores cilindroparabólicos (de tubo absorbedor móvil o fijo).
- Concentradores lineales Fresnel.
- Receptor central.
- Discos parabólicos.

La tecnología SHIP tiene un significativo potencial en la descarbonización industrial, al abordar el consumo final total de calor a baja, media y alta temperatura del sector industrial, que corresponde al 12% de la demanda total de energía final en todo el mundo (AIE, Technology Position Paper, Solar Heat for Industrial Processes (SHIP), Enero 2024). La mayor parte de la energía necesaria en este sector se utiliza para calentar y enfriar procesos de producción a temperaturas de hasta 400 °C y proviene actualmente casi exclusivamente de combustibles fósiles. La generalización del uso de tecnologías SHIP permitirá reducir significativamente las emisiones de efecto invernadero en estas aplicaciones utilizando las tecnologías anteriormente indicadas y que se desarrollan en detalle posteriormente en la presente guía, en procesos con temperaturas de hasta 400°C. Incluso, en determinados casos (principalmente en la tecnología de torre central), pueden alcanzarse temperaturas muy superiores de hasta 1.000-1.500°C. Estas temperaturas tan elevadas se precisan en industrias tales como la industria cementera, la producción de aceros, la producción de combustibles sostenibles, hidrógeno, etc. (procesos que precisan de temperaturas muy elevadas necesarias para determinados procesos termoquímicos).

Hasta ahora, la atención para descarbonizar el suministro de calor se ha centrado en la electrificación, con las consiguientes limitaciones en referencia a la interconexión eléctrica, así como el coste de esta y el desarrollo de biocombustibles alternativos, tal y como se muestra en la Figura 40. Sin embargo, según se ha puesto de manifiesto en los últimos años, la diversificación en términos de vectores de energía y tecnologías aplicadas es necesaria para garantizar un suministro energético fiable a precios bajos y predecibles.

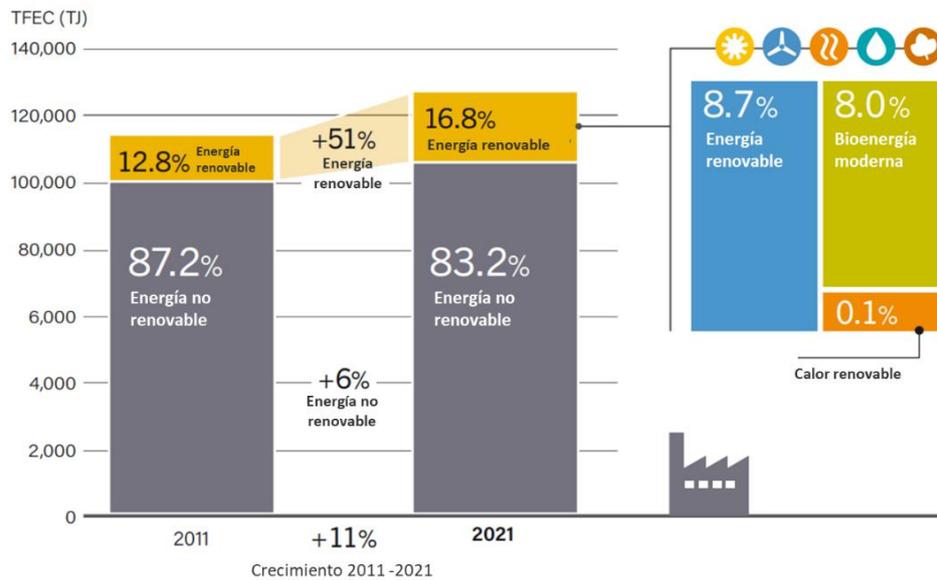


Figura 40. Cuota renovable sobre el consumo de energía final total en la industria (REN21, Renewables 2024 Global Status, Report Collection, Energy Demand, 2024)

### 10.2.2. Concentración y conversión térmica de la radiación solar

Si bien la radiación solar es una fuente térmica de elevada temperatura y elevada exergía en origen, la utilización de la misma en las condiciones del flujo que llega a la superficie terrestre destruye prácticamente todo su potencial de convertirse en trabajo, por la drástica reducción de la temperatura disponible en el fluido.

Por esta razón, se hace uso en las centrales solares térmicas de concentración de sistemas de concentración óptica, que permiten lograr mayores densidades de flujo y con ello temperaturas más elevadas. Supongamos un modelo simplificado de un sistema de energía solar térmica de concentración, formado por un captador óptico ideal, un receptor solar que se comporte como un cuerpo negro solamente presentando pérdidas por emisión (un receptor de cavidad o un receptor volumétrico se aproximarían teóricamente a esta condición) y una máquina o motor térmico con un rendimiento ideal de Carnot (Baonza, Marcos, Romero, & Izquierdo, noviembre 2000).

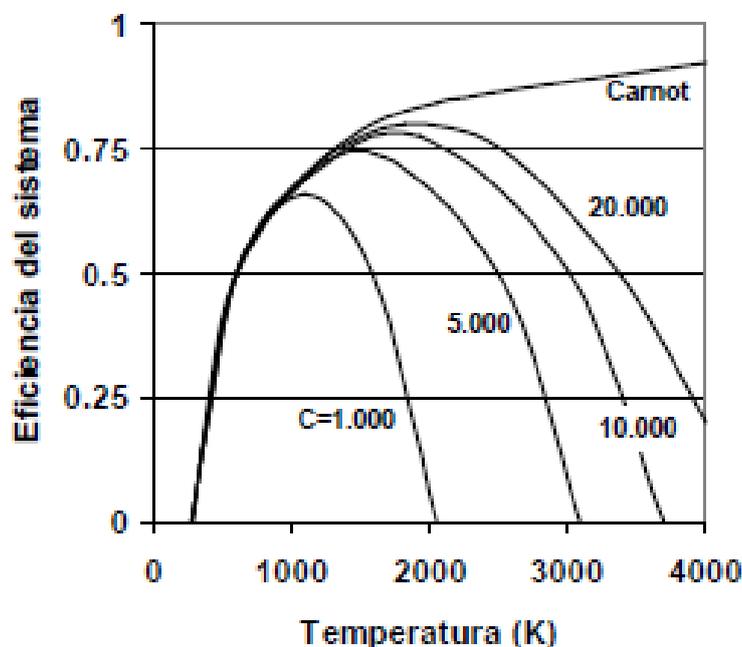


Figura 41. Variación de la eficiencia de un sistema de energía solar térmica de concentración ideal (captador óptico, receptor y máquina térmica) con la temperatura a distintos niveles de concentración.

El rendimiento del sistema vendrá marcado por el balance de pérdidas térmicas y eficiencias ópticas, tal y como se expresa en la Ecuación (2) siendo AG la superficie reflectante neta;  $\eta_0$ , la eficiencia óptica, que comprende la reflectividad (superficie reflectante), absorptancia, transmitancia, longitud útil de captación (Tubo receptor), factor interceptación, factor suciedad, y factor sombreado; el término  $K_b(\theta_i)$ , es factor modificador de ángulo, IAM, en función del ángulo de incidencia,  $\theta_i$ .

Posteriormente está el término referente a las pérdidas térmicas, de donde:  $a_0$ ,  $a_1$  y  $a_8$  son los factores de parametrización de pérdidas térmicas,  $v_m$  la temperatura media del receptor, y  $v_a$  temperatura ambiente. Por último, el factor  $a_5$  es referente a la inercia térmica.

El factor "fsafe" es el producto de  $f_p$  factor pérdidas térmicas *piping*,  $f_u$  (factor incertidumbre medida instrumentación) y  $f_o$  (factor garantía).

Factor concentración superior a 20:

$$\dot{Q}_{estimate} = A_G \cdot \left( \eta_{0,b} K_b(\theta_i) G_{bT} - a_1(\vartheta_m - \vartheta_a) - a_8(\vartheta_m - \vartheta_a)^4 - a_1 \frac{d\vartheta_m}{dt} \right) \cdot f_{safe} \quad (2)$$

Factor concentración inferior a 20:

$$\dot{Q}_{estimate} = A_G \cdot \left( \eta_{0,b} K_b(\theta_i) G_{bT} - a_1(\vartheta_m - \vartheta_a) - a_2(\vartheta_m - \vartheta_a)^2 - a_5 \frac{d\vartheta_m}{dt} \right) \cdot f_{safe} \quad (3)$$

### 10.2.3. Captadores cilindroparábolicos

Los captadores cilindroparábolicos (CCP), son captadores solares de concentración con foco lineal que transforman la radiación solar directa en energía térmica, calentando un fluido de trabajo hasta temperaturas del orden de los 400°C, con una eficiencia térmica o global del 60% - 70%. Debido a la elevada temperatura de trabajo que pueden alcanzar, los CCP son idóneos para alimentar térmicamente a una gran diversidad de procesos industriales (producción de biocombustibles, industria agroalimentaria, procesado de residuos, producción de electricidad mediante ciclos Rankine, etc.), reemplazando de este modo a los combustibles fósiles tradicionales. Entre las cuatro tecnologías analizadas en la presente guía, la tecnología utilizada en los CCP es la que se encuentra hoy en día más desarrollada comercialmente (Zarza, 2023).

#### 10.2.3.1. Componentes de un captador cilindroparábolicos

Un captador CCP está compuesto básicamente por un espejo cilindroparábolicos que refleja la radiación solar directa concentrándola sobre un tubo absorbedor colocado en la línea focal de la parábola (Figura 42). Esta radiación concentrada sobre el absorbedor hace que el fluido que circula por el interior del tubo se caliente, obteniendo de esta forma energía térmica a partir de la radiación solar. Los elementos principales de un CCP son los siguientes (Zarza, 2023):

- Reflector cilindroparábolicos.
- Tubo absorbedor o receptor.
- Sistema de seguimiento solar.
- Fluido de trabajo.

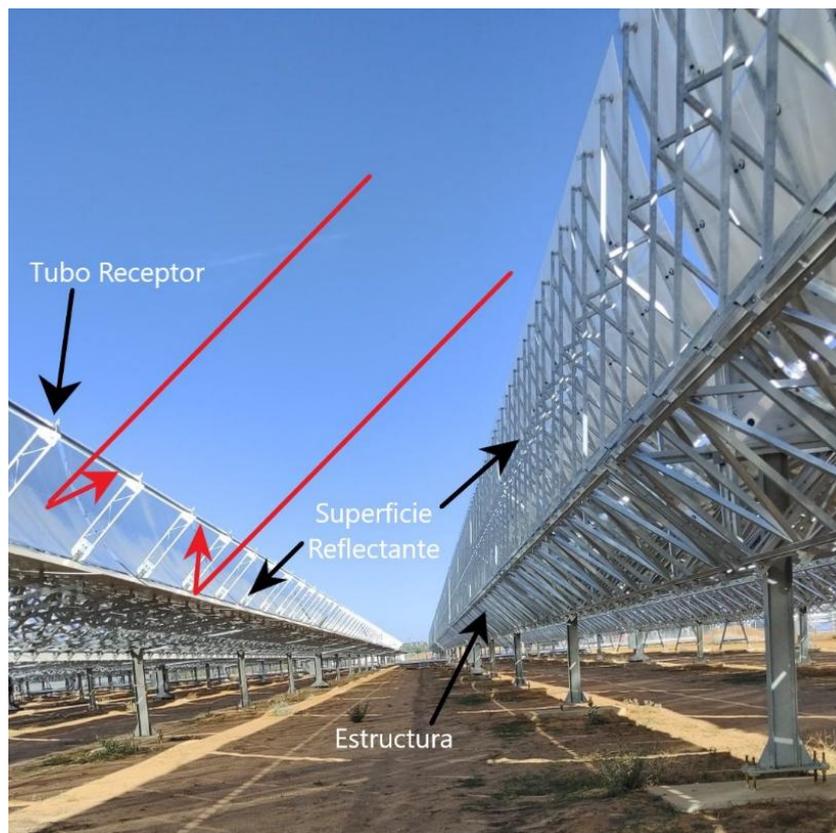


Figura 42. Principio de funcionamiento y componentes de un CCP.

Los CCP permiten alcanzar temperaturas de hasta 425°C con una eficiencia entre el 60% y 70%. La concentración óptica de la radiación solar hace que la superficie del tubo absorbedor sea mucho menor que el área de abertura del captador, lo que reduce significativamente las pérdidas térmicas del captador, ya que las pérdidas térmicas son función no solo de la temperatura media de trabajo, sino también de la superficie del absorbedor, que es el componente “caliente” del captador. Esta concentración óptica provoca que solamente la radiación solar directa sea aprovechable por el captador y exige que el captador se mueva a lo largo del día conforme el Sol describe su trayectoria diaria.

Desde los inicios de la operación de los CCP, estos han sido diseñados para aplicaciones que demandan energía térmica a unos niveles superiores a 125°C (correspondientes, con carácter general, a aplicaciones industriales). En este sentido, dada la magnitud de la potencia térmica demandada en procesos industriales (superior en muchos casos a 1 MW), los CCP han sido tradicionalmente diseñados para ser instalados en grandes campos solares, varios órdenes de magnitud mayores a los tradicionales sistemas domésticos de producción de agua caliente. Además, por razones de economía, las dimensiones de un CCP suelen ser notablemente mayores que las de un captador solar plano. Debido a la necesidad de poseer un sistema de seguimiento solar y a las características técnicas y constructivas inherentes a este tipo de captador solar, se consigue una reducción notable del coste específico por metro cuadrado de captación cuando se incrementa el tamaño del CCP. En este sentido, el tamaño óptimo corresponde a captadores de entre 4 y 8 metros.

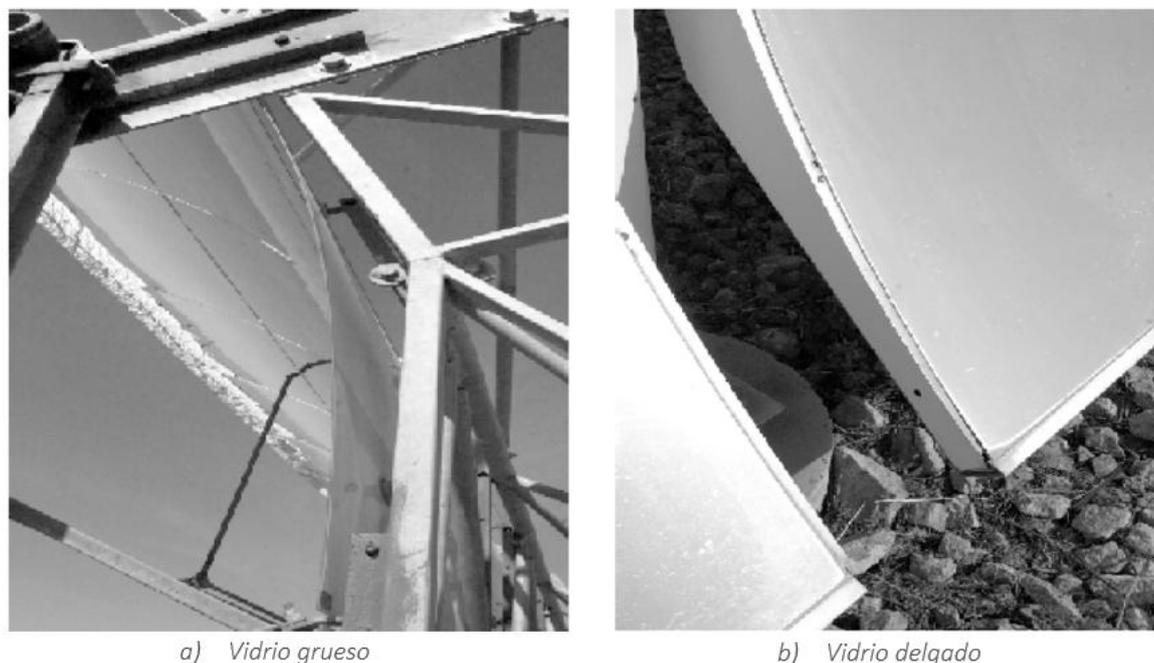
A continuación, se describen cada uno de estos componentes:

### 10.2.3.2. El reflector cilindroparábólico

El reflector cilindroparábólico tiene como función principal reflejar la radiación solar que incide sobre él y proyectarla de forma concentrada en el tubo absorbedor ubicado en su línea focal. Actúa como un espejo que, debido a su forma geométrica, concentra la totalidad de la radiación solar que alcanza su superficie sobre el tubo absorbedor. Para realizar la reflexión, se aplican capas de plata o aluminio sobre una base que proporciona la rigidez necesaria. En la actualidad, se emplean diversos tipos de bases para estas películas reflectantes, incluyendo láminas metálicas, plásticas y cristal, entre otras (Zarza, 2023):

- Para la chapa metálica, se suele emplear como material el aluminio pulido de alta reflectividad, donde el material de soporte actúa a la vez de elemento reflexivo con una reflectividad solar integrada del 86%. Sin embargo, para el contexto de la aplicación industrial a altas temperaturas, esta opción no resulta viable debido a su limitada durabilidad. Si bien presenta un coste inicial bajo, la reflectividad del aluminio disminuye rápidamente cuando se expone a la intemperie, lo que la hace poco adecuada para aplicaciones industriales que requieren una larga vida útil y resistencia a condiciones extremas de temperatura.
- Cuando en los CCP el medio de soporte es vidrio, sobre la cara posterior se deposita una fina película de plata protegida por una película de cobre y varias películas de pintura epoxi. Esto produce un espejo similar al que se encuentra en los hogares y comercios, cuya principal diferencia es el tipo de vidrio utilizado. Los CCP requieren de un vidrio de bajo contenido en hierro, del denominado vidrio borosilicato o tipo Pyrex, para que su transmisividad a la radiación solar sea mayor. Dependiendo del espesor del vidrio sobre el que se deposita la película reflexiva de plata, se tienen dos tipos diferentes de espejos con soporte de vidrio:
  - a) Vidrio grueso (espesor > 3 mm). Cuando se utiliza este tipo de vidrio como soporte, antes de depositar la película de plata, el mismo es curvado en caliente para que adopte la forma parabólica deseada, de esta forma los espejos pueden ir directamente colocados sobre la estructura metálica del captador. Por ejemplo, es el caso de los *Captadores LS-3* y *EUROTROUGH* (Figura 43.a)
  - b) Vidrio delgado (espesor < 1,5 mm). Este tipo de vidrios, como consecuencia de su espesor, tienen la capacidad de poder ser curvados en frío y pegarse directamente sobre una chapa metálica, composite, estructura *sándwich*, etc., que es la que mantiene asegurada la correcta curvatura del captador (Figura 43.b). La forma cilindroparábólica es proporcionada por una chapa metálica gruesa, sobre la cual se adhiere los espejos de pequeño espesor.

Actualmente, los grandes sistemas CCP emplean con carácter general espejos con vidrio grueso recubiertos de plata, ya que la reflectividad de la plata (>92%) es considerablemente mayor que la del aluminio (<86%), y el coste de fabricación es similar.



a) Vidrio grueso

b) Vidrio delgado

Figura 43. Diferentes tipos de espejos (Zarza, 2023).

Cuando el medio soporte de la película reflectante es plástico, se deposita una película de plata o aluminio sobre un *film* de material plástico, creando así una lámina delgada de plástico reflectante que puede adherirse a cualquier sustrato. En este caso, como en el de los espejos de vidrio delgado, la forma parabólica del captador para mantener la forma parabólica del mismo, se requiere un soporte más resistente sobre el cual se adhiere la película reflectante. Sin embargo, el principal problema de estos *films* reflectores es su baja durabilidad en la intemperie, ya que las partículas transportadas por el aire arañan y erosionan su superficie, dando lugar a una pérdida de especularidad. Adicionalmente, se ha detectado en este tipo de superficies reflexivas un grado de ensuciamiento mayor que los espejos de vidrio debido a la acumulación de partículas de polvo atraídas por la carga electrostática generada por el viento.

#### 10.2.3.3. El tubo absorbedor

El tubo absorbedor es un componente esencial de cualquier CCP, del que depende en gran medida el rendimiento global del captador. El tubo absorbedor de un CCP consta en la mayoría de los casos de dos tubos: uno interior metálico (por el que circula el fluido que se calienta) y otro exterior de cristal (ver Figura 44) (Zarza, 2023), aunque existen otros desarrollos donde el tubo absorbedor es exclusivamente un tubo metálico.

El tubo metálico está revestido con un recubrimiento selectivo que presenta una elevada capacidad de absorptividad en todo el espectro solar (>90%) y una baja emisividad en el espectro infrarrojo (<30%), lo que le proporciona un elevado rendimiento térmico. Hay diferentes tipos de recubrimientos selectivos. Los más económicos están compuestos por una capa de cromo, níquel o cobalto negro, que poseen una buena absorptividad y una emisividad moderada. Sin embargo, presentan el inconveniente de que no pueden trabajar a temperaturas superiores a los 300°C, ya que se degradan rápidamente y su emisividad aumenta. Para temperaturas más elevadas (hasta más de 420°C), se requieren recubrimientos selectivos obtenidos mediante técnicas como el *sputtering* o PVD (*Physical Vapour Deposition*). El principal desafío de los recubrimientos mediante

PVD o *sputtering* es que la mayoría de ellos se degradan al entrar en contacto con el aire cuando están calientes, por lo que requieren que se mantenga un alto vacío en la cámara que se encuentra entre el tubo metálico interior y la cubierta de cristal.

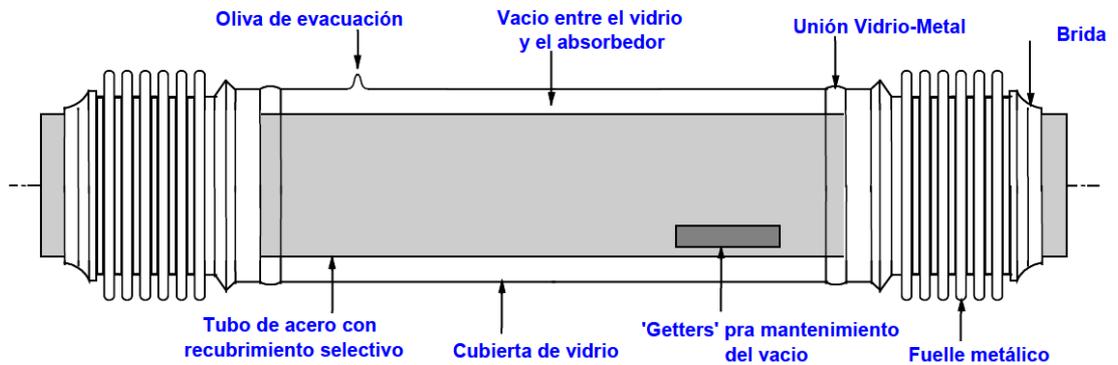


Figura 44. Tubo absorbedor de vacío para CCP (Zarza, 2023).

El tubo de cristal que rodea al tubo interior metálico tiene una doble función: proteger el recubrimiento selectivo de las condiciones climáticas, y reducir las pérdidas térmicas por convección en el tubo absorbedor. El mismo a menudo está recubierto en ambas caras con un tratamiento antirreflexivo para mejorar su transmisividad y aumentar el rendimiento óptico del captador. Generalmente, se utiliza vidrio borosilicato (bajo contenido en hierro), para aumentar la transmisividad a la radiación solar. A pesar de su bajo contenido en hierro, el vidrio Borosilicato tiene una alta transmisividad solar espectral del 92%, que se incrementa al 96% gracias al tratamiento antirreflexivo.

Entre el tubo de cristal y el tubo interior de acero, donde hay vacío, se colocan piezas adheridas al tubo metálico llamadas *getters*. Estas piezas tienen la función de absorber las escasas moléculas de las diferentes sustancias que, con el paso del tiempo, puedan ir penetrando en el espacio anular que hay entre el tubo metálico y el de vidrio y que irían degradando el vacío inicial si no se eliminasen. Los *getters* han de manipularse con precaución durante el proceso de fabricación del tubo, ya que si se activan en contacto con el aire pueden dar lugar a una pequeña deflagración.

Para hacer el vacío, una vez fabricado el tubo se conecta una bomba de vacío a una pequeña toma que existe en la cubierta de vidrio, llamada oliva de evacuación, la cual se sella cuando se ha alcanzado el vacío deseado.

#### 10.2.3.4. El sistema de seguimiento solar

Para enfocar la radiación solar en el tubo absorbedor, el captador CCP debe seguir el movimiento del Sol durante las horas de radiación solar. Esto requiere un mecanismo de seguimiento solar que ajuste la posición del captador según la trayectoria del Sol en el cielo. El mecanismo más común de seguimiento solar implica girar los reflectores cilíndroparabólicos alrededor de un eje norte - sur. La Figura 45 muestra el funcionamiento de un sistema de seguimiento solar en un eje (Zarza, 2023).

Si bien se han fabricado captadores cilíndroparabólicos con capacidad de movimiento en dos ejes, la experiencia ha demostrado que dichos captadores son menos rentables porque necesitan mayor mantenimiento debido a su mayor complejidad mecánica. Aunque estos captadores pueden recibir una mayor cantidad de radiación solar sobre su superficie de captura, también experimentan

mayores pérdidas térmicas porque la longitud de tuberías pasivas, tuberías provistas de aislamiento térmico, dentro del captador es mayor, por lo que la potencia térmica útil que suministran es igual o menor que en los captadores con seguimiento en un solo eje. Por esta razón, en la actualidad se utilizan mayormente CCP con seguimientos en un eje.

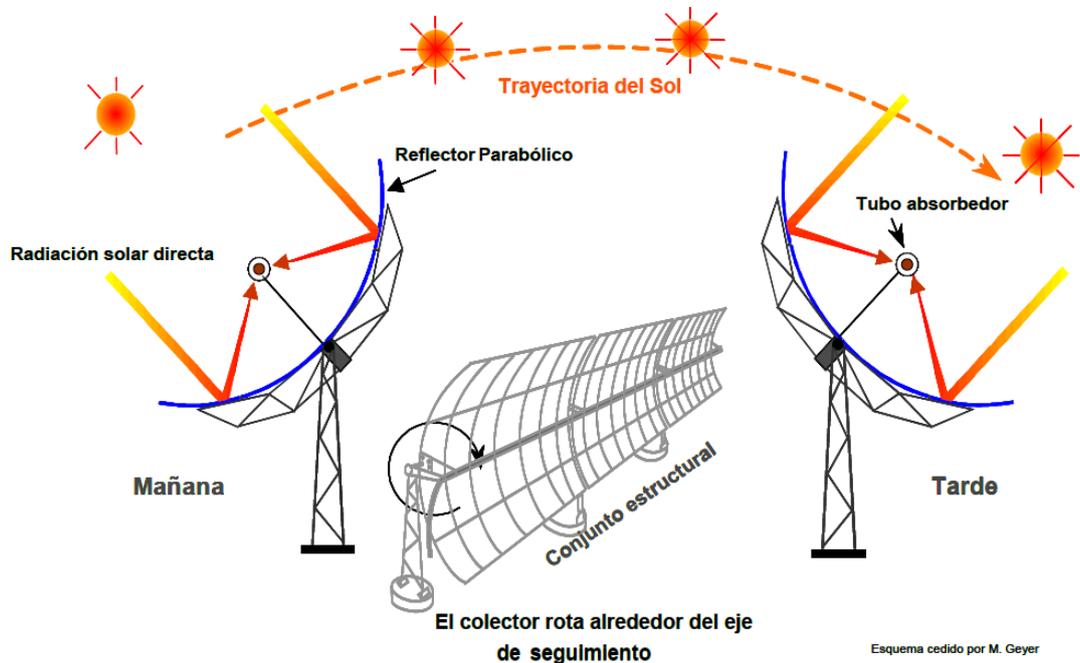


Figura 45. Esquema de funcionamiento de un sistema de seguimiento solar en un eje norte - sur (Zarza, 2023).

Con carácter general, los captadores cilindroparabólicos se colocan de manera que su eje de rotación esté alineado en dirección este-oeste o norte-sur, aunque también se pueden utilizar orientaciones intermedias. En todo caso, la decisión final de la orientación dependerá de la ubicación del campo solar y de las necesidades energéticas del proceso industrial a lo largo del año. La Figura 46 ilustra las dos orientaciones más comunes.

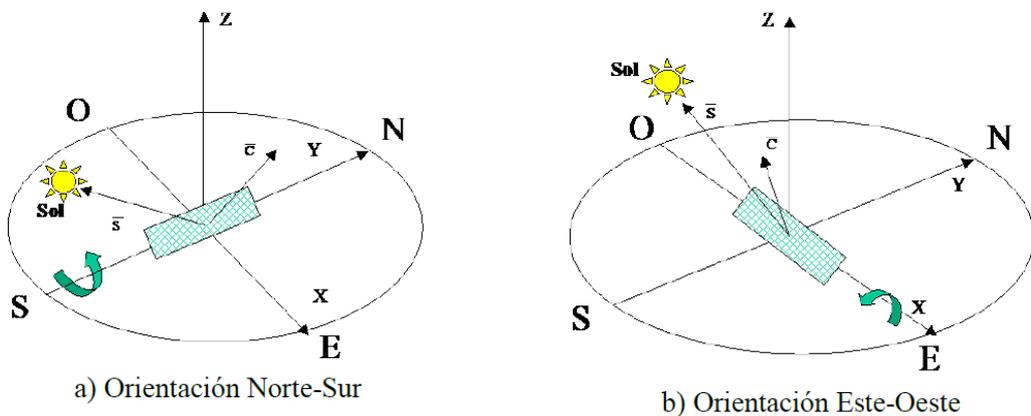


Figura 46. Las dos principales orientaciones del eje de giro de un CCP (Zarza, 2023).

La rotación del captador requiere un mecanismo de accionamiento, ya sea eléctrico o hidráulico, que mueva al captador de acuerdo con la posición del Sol. En la Figura 46 se representan los dos

tipos más comunes de estos mecanismos. En ocasiones, se emplea un mecanismo consistente en un motor eléctrico acoplado a una reductora, cuyo eje de salida está firmemente unido al eje de rotación del captador, como el mecanismo mostrado en la Figura 46.a, correspondiente al de un captador ACUREX 3001. Este enfoque es adecuado para captadores de tamaño pequeño o mediano, donde no se requieren elevados pares de torsión en el eje del captador.

Para captadores de gran tamaño, como los modelos Skal-ET o EUROTROUGH, donde se necesita altos pares requeridos para girar al captador obligan a usar mecanismos hidráulicos, como el mostrado en la Figura 46.b. En estos mecanismos, una bomba eléctrica alimenta dos pistones hidráulicos que, mediante una leva, giran la estructura del captador alrededor del eje de seguimiento.



a) motor eléctrico con reductora



b) mecanismo hidráulico



Figura 47. Diferentes tipos de mecanismos de accionamiento eléctrico - hidráulico (Zarza, 2023).

Con el objetivo de reducir costes y simplificar la construcción del captador CCP, se utiliza un solo mecanismo de accionamiento para mover varios módulos cilindroparabólicos conectados en serie y operados conjuntamente como una sola unidad. Por esta razón, se denomina "captador" al

conjunto formado por todos los módulos cilindroparábolicos estructuralmente unidos y operados por un solo mecanismo de accionamiento.

El mecanismo de accionamiento del captador recibe instrucciones sobre cuándo y en qué dirección debe mover el captador para que esté correctamente alineado con el Sol. Estas instrucciones son proporcionadas por un control electrónico que se basa en un sensor solar encargado de detectar la posición del Sol.

Los sensores solares más comunes constan de dos fotocélulas montadas sobre una superficie plana de modo que están separadas por una fina pared intermedia, llamada banda de sombra. Este conjunto se instala en el CCP de manera que el Sol esté en un plano perpendicular a la superficie y la banda de sombra quede alineada con el eje de rotación del captador.

Cuando el captador está correctamente orientado, la banda de sombra no cubre ninguna de las fotocélulas y sus señales eléctricas de salida están equilibradas. A medida que el Sol se va moviendo en el cielo, la banda de sombra comienza a sombrear parcialmente una de las fotocélulas, causando un desequilibrio en las señales eléctricas. Este desequilibrio es procesado por un comparador electrónico que, dependiendo de la magnitud y polaridad de la diferencia entre ambas señales, ordena al mecanismo de accionamiento girar el captador en la dirección adecuada hasta que desaparezca la sombra y ambas señales coincidan. Con este sistema, se puede lograr un seguimiento preciso, con una precisión de hasta 0,25 grados.

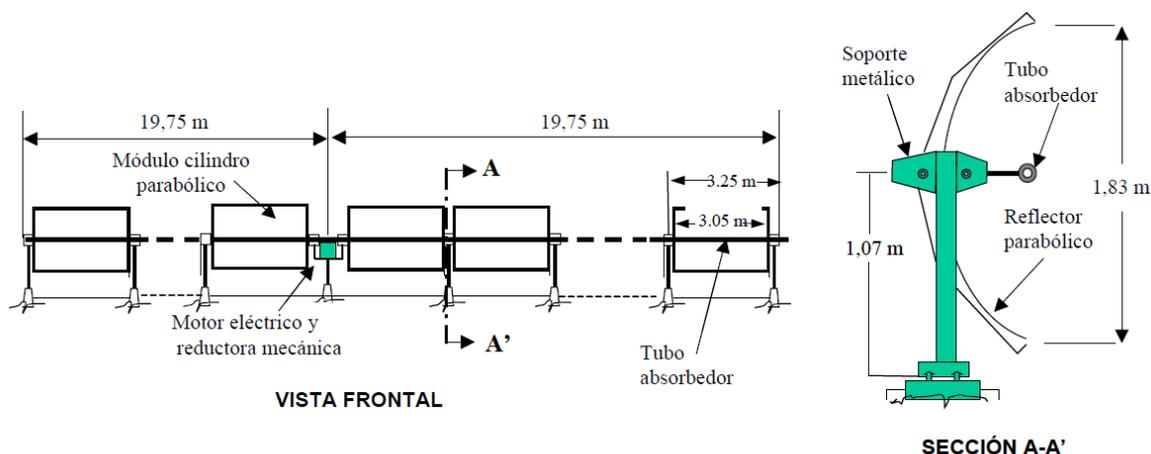


Figura 48. Dimensiones de un captador cilindroparábolicos modelo ACUREX 3001 (Zarza, 2023).

Adicionalmente, es preciso indicar que en la actualidad existen otros sistemas de seguimiento solar basados en algoritmos matemáticos que calculan con gran precisión las coordenadas del Sol con respecto al captador, lo cual permite prescindir de los sensores solares tradicionales. Un codificador angular conectado al eje de giro del captador proporciona información precisa sobre su posición en todo momento. Si la posición real del captador no coincide con la esperada según el cálculo del algoritmo, un microprocesador ordena al mecanismo de accionamiento ajustar la posición del captador. Este enfoque, llamado "en lazo abierto", elimina la necesidad de sensores solares.

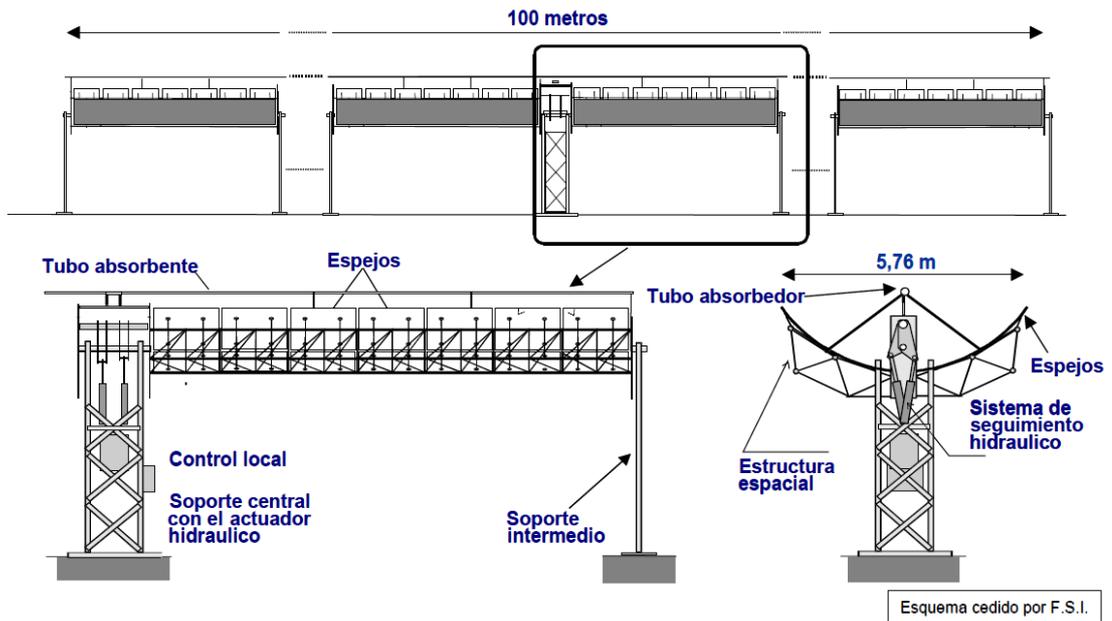


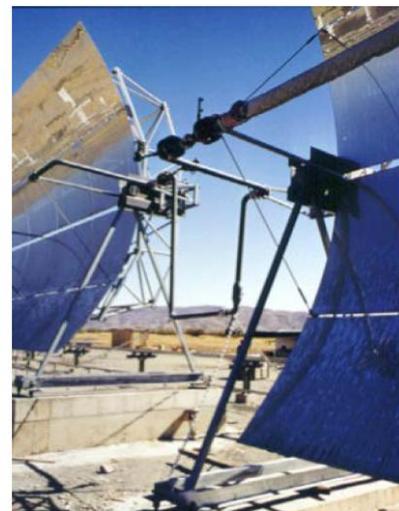
Figura 49. Dimensiones de un captador cilindroparabólico modelo LS (Zarza, 2023).

El mercado ha visto recientemente un nuevo dispositivo electrónico que permite conocer con gran precisión la posición del eje de giro del CCP, usando una cinta flexible con marcas magnéticas que son detectadas por una cabeza lectora al desplazarse la cinta.

Adicionalmente, en los campos de CCP, varios captadores se unen en serie para formar filas que, a su vez, se unen en paralelo hasta conseguir la potencia térmica deseada. En cada fila, los tubos absorbedores de captadores solares adyacentes deben unirse de modo que se permita el giro independiente de los dos captadores, a la vez que debe compensar las dilataciones térmicas de los tubos absorbedores en los extremos de los captadores. Esto se logra mediante conexiones flexibles o juntas rotativas, que también unen las tuberías principales del campo de captadores. La Figura 50 muestra los dos elementos de unión descritos anteriormente.



a) tubería flexible



b) juntas rotativas

Figura 50. Diferentes tipos de acoplamiento entre captadores CCP (Zarza, 2023).

Una vez que se han detallado los componentes esenciales de un CCP estándar, la Figura 51 ilustra una vista completa de este tipo de captador, ofreciendo una visión general completa. Este CCP se compone de dos módulos parabólicos concentradores. Los espejos del captador tienen un grosor de vidrio de 3,5 mm, y su seguimiento solar se lleva a cabo mediante un sistema en lazo abierto, donde la posición del Sol se calcula mediante un algoritmo matemático, y un codificador angular mide la posición del eje de giro del captador. El sistema de accionamiento es hidráulico de doble cilindro, y la unión entre captadores se realiza a través de tres juntas rotativas del tipo mostrado en la Figura 50.b, aunque no son visibles en la imagen debido a que están cubiertas por el aislamiento térmico.

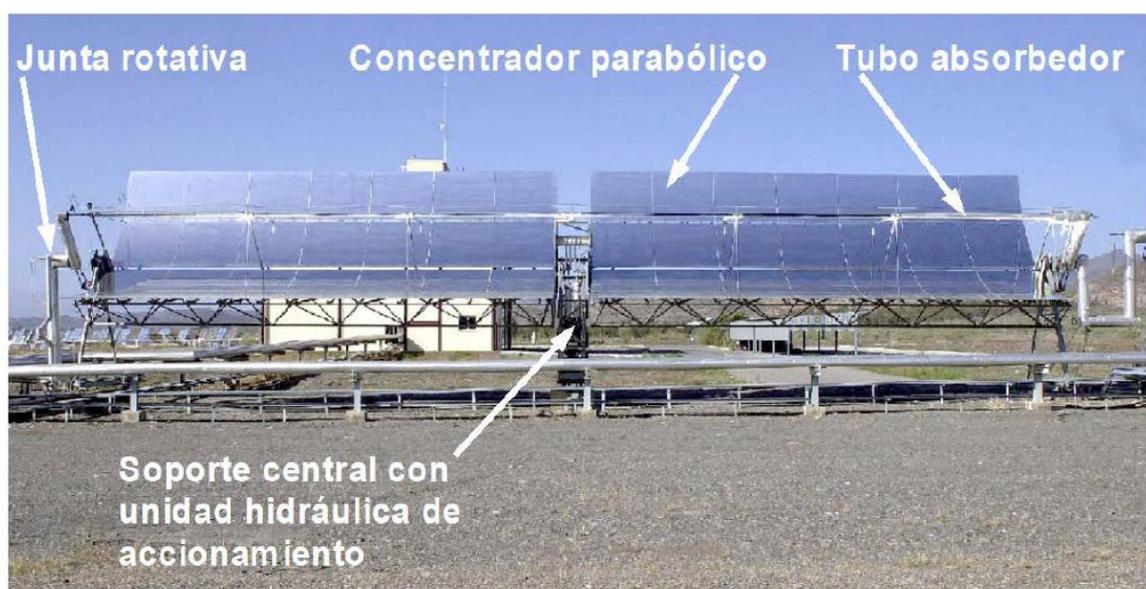


Figura 51. Vista de un CCP completo (Zarza, 2023).

#### 10.2.3.5. Fluidos de trabajo para los CCP

El rango de temperatura ideal para trabajar con captadores cilindroparabólicos es  $150^{\circ}\text{C} - 425^{\circ}\text{C}$ . Para temperaturas más altas, las pérdidas térmicas disminuyen su eficiencia, mientras que para temperaturas más bajas existen captadores más económicos, como los captadores CPC o de vacío (Zarza, 2023).

El fluido de trabajo en los CCP depende de la temperatura deseada. Para temperaturas moderadas ( $<240^{\circ}\text{C}$ ), el agua desmineralizada es viable, mientras que para temperaturas más altas ( $175^{\circ}\text{C} < T < 400^{\circ}\text{C}$ ) se usa aceite térmico. La explicación de este hecho consiste en que para temperaturas altas las tuberías estarían sometidas a elevadas presiones si el fluido de trabajo es agua, ya que para evitar que se evapore el agua es necesario mantenerla en todo momento a una presión superior a la de saturación correspondiente a la temperatura máxima que alcance el agua en los captadores solares. En consecuencia, si se desea tener agua caliente a  $315^{\circ}\text{C}$  a la salida de los captadores, la presión en el circuito tendrá que ser superior a 10 MPa. En cambio, puesto que la presión de vapor del aceite para estas temperaturas es mucho menor que la del agua, se puede calentar aceite a  $315^{\circ}\text{C}$  sin tener que mantener el circuito a más de 1,5 MPa. Para temperaturas que alcanzan hasta  $425^{\circ}\text{C}$ , se puede emplear aceite sintético a base de silicona, como el Helisol-5A.

De esta forma, trabajar a menores presiones posibilita la utilización de materiales más económicos para las tuberías y simplifica la instalación y sus medidas de seguridad. Por último, es necesario considerar que la selección del aceite depende de la temperatura máxima de trabajo que se desea.

Existe pues, una diversidad de opciones que hay que valorar antes de seleccionar el fluido de trabajo para un campo de captadores cilindroparabólicos. El uso de agua para altas temperaturas ha sido considerado debido a su potencial para aumentar la eficiencia y reducir pérdidas térmicas, dando lugar a la generación directa de vapor (GVD).

#### 10.2.4. Concentradores lineales Fresnel

Los sistemas de concentración solar Fresnel son sistemas de foco lineal, es decir, concentran la radiación solar a lo largo de una línea, que corresponde a un tubo de absorción por el que circula un fluido térmico.

Si bien los captadores Fresnel para aplicaciones térmicas en la industria se encuentran en un nivel de desarrollo más temprano que los CCP, algunos prototipos avanzados sugieren un alto potencial comercial en el corto plazo.

##### 10.2.4.1. Principios de funcionamiento

El sistema captador está constituido por superficies reflectoras de baja curvatura que interceptan, concentran y reflejan la radiación solar dirigiéndola hacia el tubo receptor, situado en un plano diferente al de reflexión. Como el objetivo es concentrar los rayos solares sobre la superficie del receptor, el sistema captador debe disponer de un mecanismo de control que le permita seguir la trayectoria del Sol de modo que siempre se encuentre enfocado hacia él. Una vez que la radiación concentrada llega al receptor, éste la convierte en energía térmica mediante una transferencia de energía al fluido de trabajo.

El esquema tipo de un captador lineal Fresnel se muestra en las Figura 52 y Figura 53.

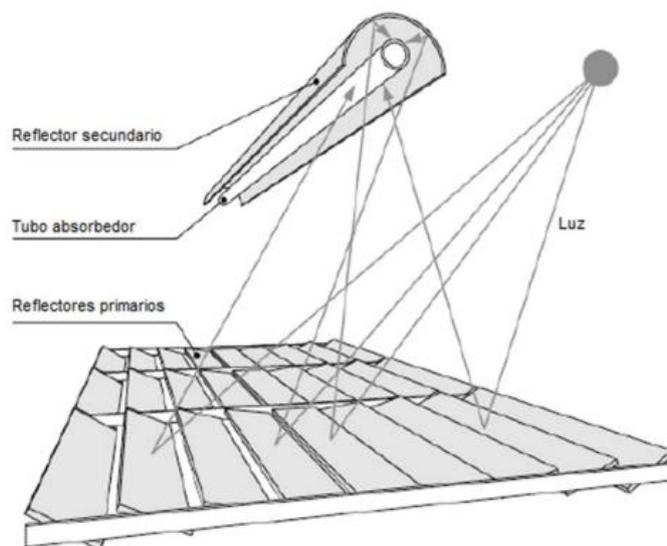


Figura 52. Esquema de un captador solar tipo Fresnel (Poullikkas, 2013).

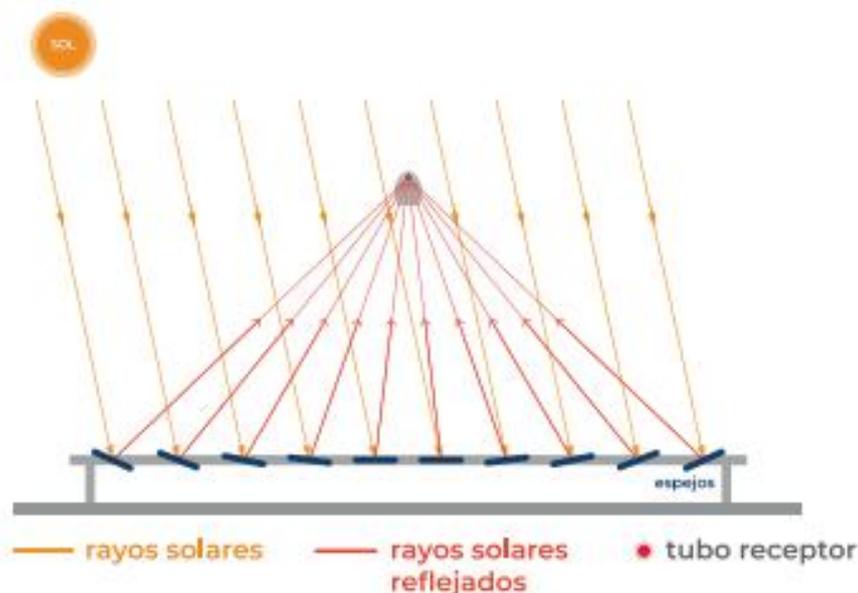


Figura 53. Principio de funcionamiento de un captador lineal Fresnel ( Sinfin Energy).

El funcionamiento general de un campo de captadores solares de Fresnel se resume a continuación, siguiendo el esquema mostrado en la (Figura 53):

- Los rayos solares inciden sobre los espejos o reflectores, cuyo radio de curvatura provoca que estos rayos sean reflejados (incidan) en su foco (línea focal) donde se encuentra el tubo receptor/absorbedor.
- Generalmente, los sistemas cuentan con un sistema de seguimiento monolítico, de forma que los ejes de los espejos están accionados por un único *tracker* que permite que se muevan conjuntamente en función de la orientación solar, con objeto de maximizar el rendimiento de la instalación.
- En la mayor parte de casos, alrededor de dicho tubo receptor/absorbedor se encuentra un espejo reflector secundario para asegurarse que la mayor cantidad posible de rayos incidan sobre el mismo, con objeto de mejorar el rendimiento del captador.
- Por último, los rayos solares calientan el exterior del tubo absorbedor y se produce una transmisión de calor a lo largo del espesor del mismo, dentro del cual circula un fluido caloportador (por ejemplo, agua), que es calentado. En consecuencia, a partir de esta transferencia de calor y debido a la longitud del tubo receptor, la temperatura del fluido se incrementa durante su viaje a través del tubo, para posteriormente ser el fluido caliente dirigido al resto de los componentes de la planta, ayudado por una bomba de inyección que lo hace circular.

#### 10.2.4.2. Componentes de un captador Fresnel

Los elementos que constituyen este captador son los siguientes:

- Estructura portante del conjunto.
- Reflectores primarios o espejos (ligeramente curvados elásticamente en frío).
- Receptor, formado por un tubo o varios tubos absorbedores, con o sin cubierta. El receptor se encuentra en un plano paralelo y superior a los concentradores planos. Por el interior de los tubos absorbedores circula el fluido caloportador.

- En determinados casos, mecanismos de seguimiento solar de los concentradores.

A continuación, se explican cada uno de estos elementos que componen el captador. Para ello, se ha considerado como referencia el campo Fresnel piloto situado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros (ETSI) de la Universidad de Sevilla. Este campo está conectado a una máquina de absorción de doble efecto para formar una planta piloto experimental de refrigeración solar. El agua que se calienta por medio de la energía solar es introducida en la máquina de absorción para producir frío con el objetivo de refrigerar el edificio.

#### 10.2.4.3. Estructura de Acero

La estructura de acero (ver Figura 54) sirve como soporte para los espejos y sus cojinetes, junto con el tubo de absorción y el reflector secundario. Esta estructura define los límites del área de espejos.



Figura 54. Estructura de acero del captador solar (ETSI de la Universidad de Sevilla).

#### 10.2.4.4. Espejos Reflectores

En el caso de los captadores Fresnel, los espejos primarios están fabricados con vidrio de seguridad ligeramente curvado elásticamente y están adheridos a la estructura de soporte. Esta estructura es móvil gracias a un mecanismo de arrastre que forma parte del sistema de seguimiento solar y opera de manera autónoma. La Figura 55 muestra el conjunto de espejos en posición de seguimiento y en posición de espera.

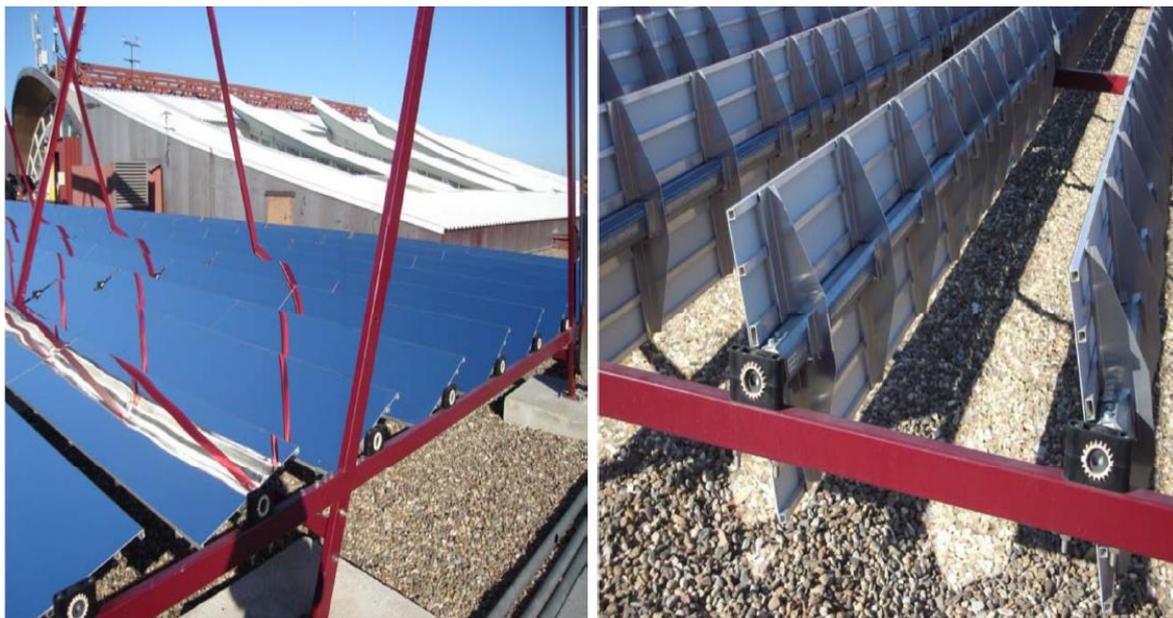


Figura 55. Espejos reflectores en posición de seguimiento (izquierda) y en posición de resguardo (derecha) (ETSI de la Universidad de Sevilla).

#### 10.2.4.5. Sistema o mecanismo de seguimiento

En cuanto a la transmisión de energía del motor impulsor, representado en la Figura 56 esta se efectúa mediante un sistema o mecanismo de seguimiento que reduce la velocidad en la polea de salida. Cada mecanismo de arrastre es responsable de mover los espejos de una fila en cada lado del sistema, asegurando así un movimiento preciso y coordinado de los componentes del captador solar.

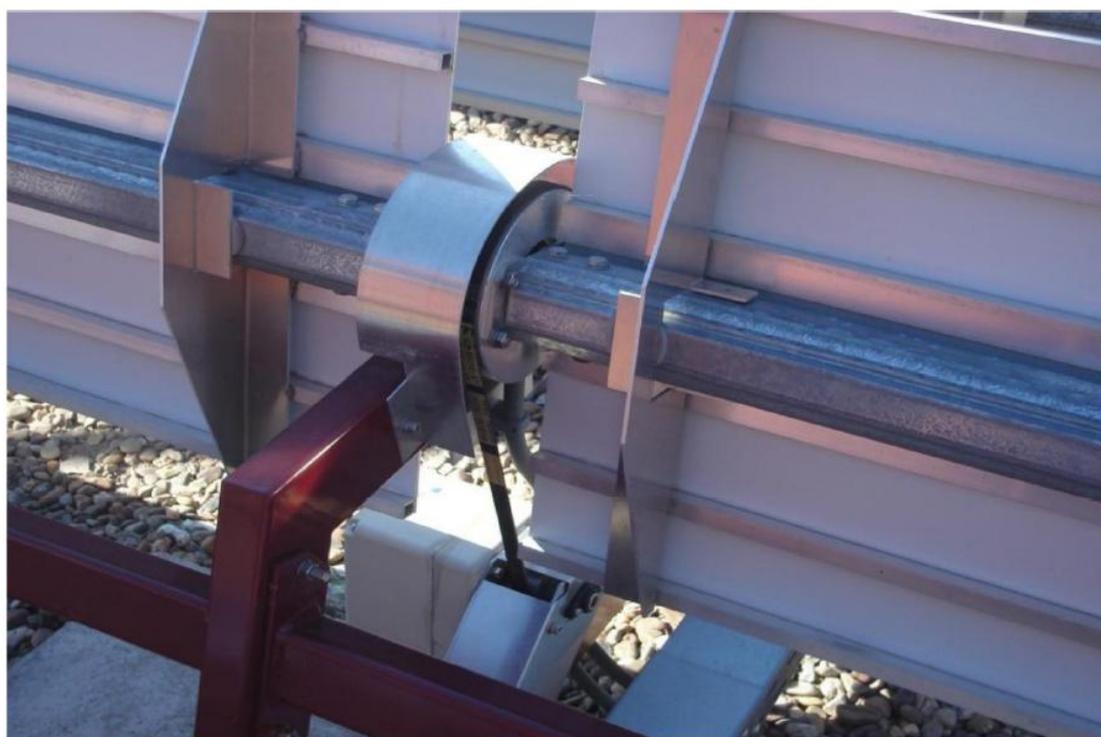


Figura 56. Mecanismo de arrastre (ETSI de la Universidad de Sevilla).

#### 10.2.4.6. Reflector Secundario

El reflector secundario (Figura 57) consiste en una envuelta delgada de metal y un espejo montado en el interior de la citada cubierta. Su objetivo es reflejar la radiación solar que no incide directamente sobre el receptor desde los espejos primarios, optimizando de este modo la eficiencia óptica del sistema. Además, protege al tubo receptor.



Figura 57. Reflector secundario (ETSI de la Universidad de Sevilla).

#### 10.2.4.7. Tubo receptor

El absorbedor consiste en un tubo soldado que incluye un receptor. En los extremos del tubo, se encuentran bridas para la conexión del captador solar con el resto del circuito hidráulico. En el caso particular del prototipo que sirve de base para este apartado, el sistema hidráulico opera a una temperatura máxima de 200 °C y una presión máxima de 16 bares, con una presión estándar de operación limitada a 13 bares y una válvula de liberación de presión ajustada a 16 bares. El caudal nominal de agua es de 13 m<sup>3</sup>/h. El tubo absorbedor está envuelto por una cubierta de vidrio para mantener el vacío entre ambos, formando el tubo receptor como se muestra en la Figura 58.

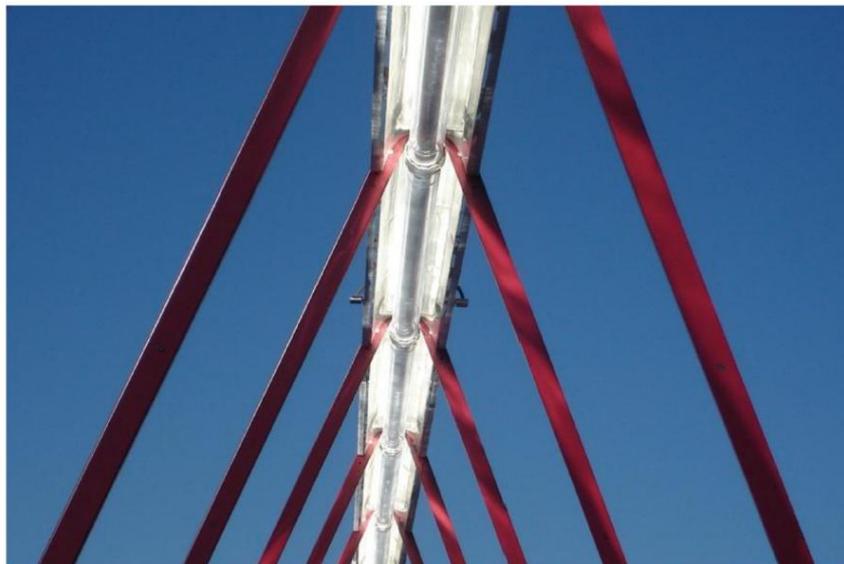


Figura 58. Tubo de absorción con cubierta de vidrio (ETSI de la Universidad de Sevilla).

#### 10.2.4.8. Diferencias entre la tecnología Fresnel y la tecnología CCP

Algunas de las principales diferencias de la tecnología Fresnel respecto a la tecnología CCP para la obtención de calor de media temperatura (hasta los 250°C) son las siguientes (González Parrilla, 2019):

- El precio de las centrales Fresnel es más ventajoso, ya que los motores y el sistema mecánico y estructural son más económicos que en los sistemas CCP.
- Los espejos de los Fresnel son rectos, mientras que los de los CCP son curvos, lo que implica una pérdida de rendimiento óptico de aproximadamente el 15% en comparación con los CCP.
- Las relaciones de concentración son más bajas en los sistemas Fresnel, con relaciones de aproximadamente 20:1, mientras que las centrales CCP trabajan con relaciones cercanas a 80:1.
- El diseño estructural del sistema Fresnel ofrece ventajas económicas al permitir una disposición más compacta de los espejos, sin necesidad de grandes espacios entre líneas. Esto reduce los costes de estructuración en comparación con los sistemas CCP, que requieren una mayor separación entre líneas para facilitar el acceso y mantenimiento.
- El mantenimiento y la limpieza son más accesibles en los sistemas Fresnel debido a su disposición a nivel del suelo, comparado con los sistemas CCP que requieren acceso a alturas elevadas.
- Los rendimientos del ciclo agua-vapor son considerablemente inferiores en las plantas Fresnel en comparación con las CCP, alcanzando aproximadamente un 27%, lo que representa una diferencia de casi 12 puntos porcentuales respecto al rendimiento del 39% que logran las plantas CCP (García, 2020).
- Los sistemas Fresnel pueden calentar el agua entre 450°C y 500°C sin partes móviles, lo que reduce el riesgo de fugas comparado con los CCP, que tienen partes móviles y alcanzan temperaturas similares.
- Los sistemas Fresnel tiene las cargas de viento son generalmente menores que un sistema CCP.
- Los captadores Fresnel pueden calentar el agua en torno a los 450°C-500°C. En comparación, los sistemas CCP, que tienen partes móviles, presentan un mayor riesgo de fugas al calentar fluidos a alta temperatura.

Dependiendo de las necesidades específicas, la elección entre un sistema Fresnel y un sistema CCP varía. Los sistemas Fresnel son ideales cuando se requiere una instalación más económica y fácil de mantener, especialmente en áreas con limitaciones de espacio. Además, son efectivos para calentar fluidos a altas temperaturas de manera segura y eficiente. Por otro lado, los sistemas CCP son preferibles cuando se busca una alta eficiencia en la conversión. Estos sistemas son óptimos para aprovechar grandes áreas disponibles y optimizar la recolección de energía solar utilizando espejos parabólicos concentradores. En la Tabla 10, se muestra una comparativa de ambas tecnologías.

Componentes	CCP	Tecnología lineal Fresnel
Espejos	Forma de parábola	Montada sobre fondo plano (Producción en masa estandarizada)
Receptor	Se mueve con todo el sistema de canal alrededor del centro de masa	Fijado y separado del sistema reflector
Estructura base	Pesada	Ligera
Sistema de tuberías	Necesita conexiones flexibles	No necesita
Instalación on-site	Toma largo tiempo	Rápida y Fácil
Cargas de viento en captador	Alta	Baja
Superficie de espejos por receptor	Más baja que en Fresnel	Más alta en parabólico
Eficiencia óptica	Alta	Baja
Uso del suelo	Baja	Alta

Tabla 10. Comparativa entre tecnologías CCP y Fresnel (González Parrilla, 2019).

### 10.2.5. Receptor central

Las plantas termosolares de torre central constan de un campo donde se distribuye un conjunto de heliostatos (espejos planos) alrededor de una torre central. La radiación solar es reflejada por estos heliostatos hacia un mismo punto de la torre, de manera que se consigue concentrar el calor del sol sobre un receptor central montado en la parte superior de una torre (Falcone, 1986). Por el interior de este receptor circula un fluido térmico, que suele ser una mezcla de sales fundidas, que permiten absorber esta radiación solar altamente concentrada y posteriormente, este fluido se conduce mediante conductos convenientemente aislados para evitar pérdidas de calor hacia unos intercambiadores de calor donde se transfiere la energía térmica del fluido, por ejemplo, hacia conductos de agua para generar vapor a alta presión (Hermenegildo Rodríguez, 2024).

El conjunto de espejos que conforman cada heliostato dispone, típicamente, de un sistema de seguimiento de la posición del sol, totalmente motorizado y automatizado que se mueve sobre dos ejes, normalmente en altura y acimut, lo que permite, con los movimientos apropiados de la estructura que soporta los espejos, mantener el reflejo de los rayos solares sobre el receptor de la torre.

El receptor de la torre, sobre la que se dirigen los rayos solares reflejados por los heliostatos, se compone de una superficie absorbente, que permite retener la energía térmica de los rayos reflejados, y que envuelve a un entramado de tubos interiores por donde circulan las sales térmicas (Romero Alvarez, 2023).

Estas sales son impulsadas desde un "tanque frío" situado a los pies de la torre, hasta el receptor situado en la parte superior de una torre, donde se calientan al recibir el reflejo de los heliostatos hasta alcanzar una temperatura que puede ser próxima a 600°C. Las sales calientes bajan de la torre por otra tubería hasta un intercambiador de calor, en el cual se transfiere toda la energía térmica a un fluido (por ejemplo, agua para generar vapor de agua).

En condiciones de máxima insolación, donde la energía térmica obtenida por radiación solar es mayor que la demanda por la turbina, parte de esas sales calientes que bajan de la torre se almacena en un "tanque caliente", convenientemente aislado de manera que las sales almacenadas en su interior puedan conservar todo el calor para poder utilizarlo posteriormente en momentos de baja radiación solar.

Las sales almacenadas en el tanque caliente, que pueden mantenerse a temperaturas por encima de los 500° C, se emplearán en momentos de nula o poca radiación solar, y se pueden encargar entonces de ceder el calor almacenado.

A continuación, se describen dos tipos de sistemas de torre con receptor central y sus respectivos procesos de generación de energía y aplicaciones industriales, junto con sus características:

1. Proceso termodinámico acoplado a planta de torre central para generación de vapor a distintos niveles de presión, generalmente por debajo de < 12 bares.
  - Es un sistema basado en un primario de agua presurizada con receptor central para calentamiento del agua. Mediante un intercambiador se genera vapor cuya temperatura es ajustada "en fino" mediante un intercambiador secundario.
  - Excelente patrón anual de generación que no varía su performance en invierno – verano.
  - Heliostato de pequeña dimensión, con perfil hincado, y de fácil montaje on site.
  - Torre de celosía de bajo coste y altura dependiendo del tamaño de campo, normalmente < 40 metros.
  
2. Sistema de torre para secado y calentamiento directo de partículas en receptor de diseño específico.
  - Secado directo de material evitando fluidos intermedios de trabajo.
  - Aplicable a distintas industrias como por ejemplo minerales, el árido utilizado en la producción de asfaltos, otros.
  - Sistema de almacenamiento directo acoplado a la torre.
  - Igual al anterior, excelente patrón anual de generación que no varía su rendimiento en invierno – verano.
  - Heliostato de pequeña dimensión, con perfil hincado, y de fácil montaje on site.
  - Torre de celosía de bajo coste y altura dependiendo del tamaño de campo, normalmente < 40 metros.

#### 10.2.5.1. Componentes de un captador de receptor central

Un captador basado en un sistema de torre central presenta los siguientes subsistemas:

- **Campo de helióstatos o sistema captador:** formado por una gran cantidad de unidades distribuidas en filas, cada una con su propio control local. Este sistema se encarga de recoger y concentrar la radiación solar sobre el receptor.
- **Receptor:** es el elemento clave de la planta, en el cual se absorbe la radiación solar concentrada. Facilita la conversión de la energía radiante en energía convectiva, conectando así la parte solar con la parte convencional de la planta.
- **Sistema de intercambio de calor:** permite transportar la energía térmica.

- **Sistema de almacenamiento:** como en otras tecnologías indicadas previamente, ayuda a mitigar los efectos transitorios causados por nubes o variaciones en la radiación solar almacenando el exceso de energía térmica para su uso posterior.
- **Control central, UPS y sistemas de rechazo de calor:** los sistemas de control centralizados, las unidades de suministro de energía ininterrumpida (UPS) y los sistemas de rechazo de calor garantizan el funcionamiento fluido y la seguridad de toda la planta.

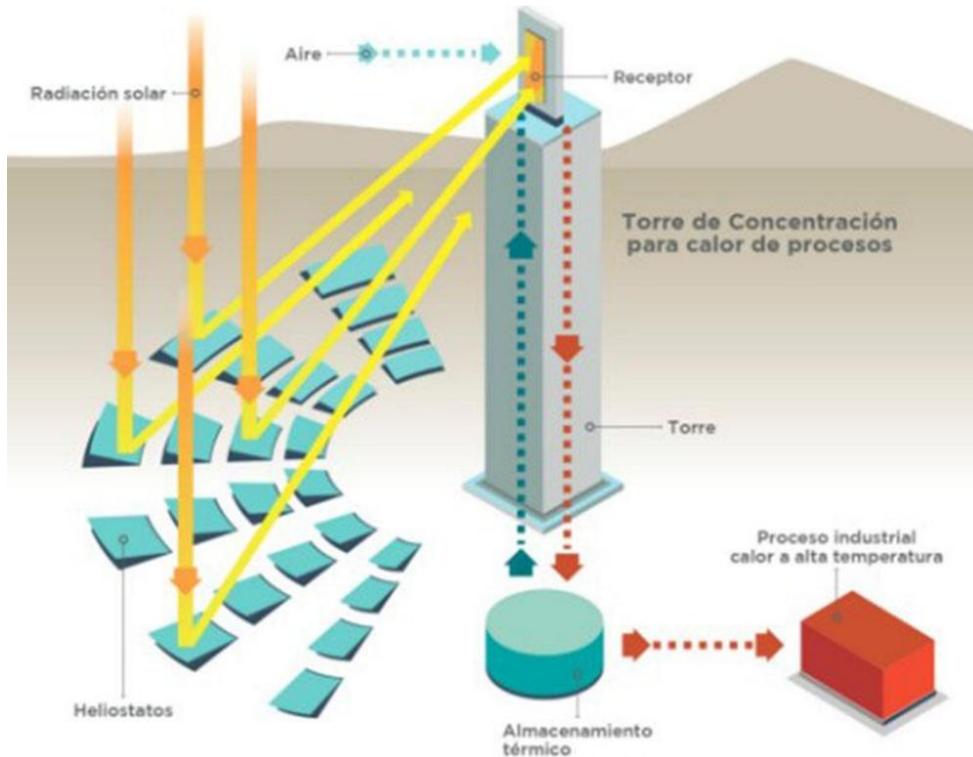


Figura 59. Esquema de un captador solar de receptor central (Cardemil, 2019).

10.2.5.2. Diversidad de sistemas de receptor central

Los sistemas de receptor central en plantas de energía solar térmica se dividen en varios tipos, cada uno con sus propias características y aplicaciones. Existen diferentes tipos de sistemas de receptor central en plantas de energía solar térmica debido a las variaciones en los fluidos de trabajo utilizados, las temperaturas y presiones operativas, así como las necesidades específicas de almacenamiento de energía y eficiencia global del sistema. Cada tipo de sistema tiene sus propias características y beneficios que los hacen adecuados para diferentes aplicaciones y condiciones de operación.

Fluido	Agua/Vapor	Sodio Líquido	Sales fundidas	Volum. Aire
Flujo Solar (MW/m <sup>2</sup> ) - Promedio - Pico	0,1 - 0,3 0,4 - 0,6	0,4 - 0,5 1,4 - 2,5	0,4 - 0,5 0,7 - 0,8	0,5 - 0,6 0,8 - 1,0
Temperatura salida Fluido (°C)	490-525	540	540-565	700-800 (<800)

Tabla 11. Condiciones de fluido en sistemas de receptor central.

#### 10.2.5.3. Sistema agua/vapor

En este sistema, el vapor es producido y sobrecalentado en el receptor solar a altas temperaturas y presiones, alrededor de 500 °C y 10 MPa respectivamente, antes de ser enviado para su uso en el proceso industrial. Para mitigar los transitorios y asegurar un suministro constante de vapor a la turbina, se emplean sistemas de almacenamiento, como sales fundidas o una termoclina aceite/rocas.

#### 10.2.5.4. Sistema de sodio líquido

El sistema de receptor central que emplea sodio líquido destaca por su capacidad para operar a altas temperaturas, alrededor de 550°C, lo que permite un alto rendimiento en la generación de vapor mediante intercambiadores de calor sodio/agua. La alta conductividad térmica del sodio posibilita la operación a flujos solares significativamente más elevados que otros fluidos, lo que resulta en una mejor eficiencia y menor pérdida de calor. Esto permite diseños de receptores más compactos y eficientes, con una reducción en los costes y una mayor eficiencia térmica. Sin embargo, estas ventajas se ven contrarrestadas por los desafíos asociados con la seguridad y los costes del sistema de almacenamiento, debido a la alta reactividad del sodio y su baja capacidad calorífica volumétrica.

#### 10.2.5.5. Sistema de sales fundidas

La sal fundida más comúnmente utilizada en sistemas de receptor central es una mezcla de 60 % de nitrato sódico y 40 % de nitrato potásico. Calentada desde 288 °C hasta 566 °C en un receptor solar, esta sal se emplea tanto en sistemas de panel de tubos como de película descendente. Posee una larga experiencia en relación con su manejo, siendo no tóxica y estable. Su bajo punto de vapor y su inercia frente al agua facilitan su aplicación en diversos diseños de receptores, mientras que su alta conductividad térmica y capacidad calorífica la hacen ideal tanto para el intercambio de calor como para el almacenamiento térmico. Además, debido a los bajos costes asociados con su almacenamiento térmico, estas plantas son especialmente ventajosas en aplicaciones solares con largos periodos de almacenamiento, de hasta 12 horas.

#### 10.2.5.6. Sistema de Aire

Estos receptores consisten en matrices metálicas o cerámicas que calientan aire a presión atmosférica, alcanzando temperaturas de hasta 700-800 °C. Este sistema, conocido como PHOEBUS, también incluye un sistema de eliminación de calor con torres de enfriamiento. El concepto de receptor volumétrico permite alcanzar flujos de absorción similares a los de las sales fundidas en paneles de tubos.

### 10.2.6. Disco parabólico

El sistema disco parabólico (SDP), está compuesto por una superficie concentradora de forma parabólica capaz de concentrar la componente directa de la radiación solar sobre el foco geométrico de dicha superficie. En el foco se sitúa un elemento capaz de aprovechar la energía térmica alcanzada en esa zona. Normalmente este elemento convierte la energía térmica incidente en energía mecánica a través de un motor Stirling, cuya salida es aprovechada por un alternador para generar energía eléctrica. Aunque ésta ha sido la principal aplicación, es posible aprovechar

dicha energía térmica para otras aplicaciones como generar vapor directamente o utilizarlo como calor de proceso.

Tal y como se puede ver en la figura a continuación, todo el sistema está sostenido por un pedestal y una estructura que permite el seguimiento solar en dos ejes, puesto que se trata de una concentración tridimensional (Blázquez Carnerero, 2011).



Figura 60. Sistema disco parabólico Sunspin (Kalido, 2024)

Complementariamente, se muestra otra infografía referente al sistema de disco parabólico Eurodish.

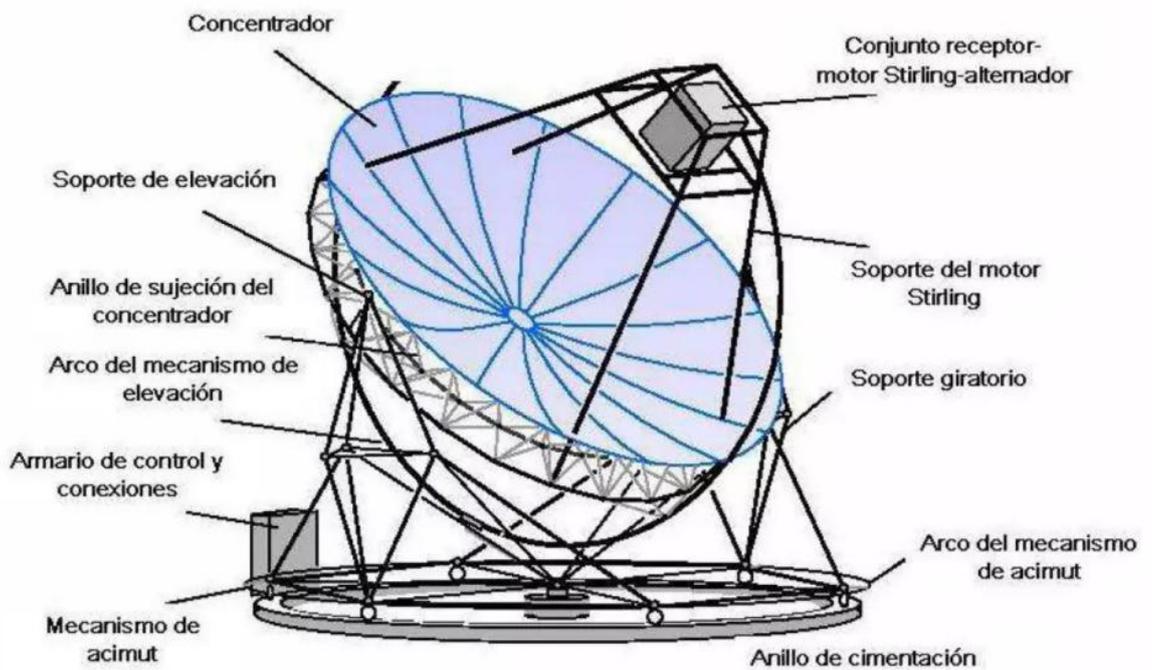


Figura 61. Esquema del sistema de disco parabólico Eurodish (Blázquez Carnerero, 2011).

### 10.2.6.1. Elementos que componen el captador disco parabólico.

#### 10.2.6.1.1. Concentrador

En la tecnología de disco parabólico, como en cualquier tecnología de concentración solar, la reflexión de la componente directa de la radiación solar se consigue a través de una superficie de alta calidad óptica para disminuir posibles errores. El captador de esta tecnología es idealmente una superficie de revolución, que no es más que aquella generada mediante la rotación de una curva plana (generatriz) alrededor de una recta directriz (eje de rotación) situada en el mismo plano de la curva. La generatriz de esta curva es una parábola, cuyo giro entorno a la directriz es la superficie de revolución denominada “paraboloide de revolución” o “captador disco parabólico” (CDP) (Stine & Diver, 1994).

Existen diversos tipos de concentradores, siendo el objetivo en todo caso acercarse lo máximo posible a la superficie ideal de disco parabólico.

En primer lugar, se presentan aquellos concentradores diseñados a partir de la disposición de facetas independientes de alta reflectividad, curvadas y alineadas entre sí de forma que la superficie final sea una superficie de revolución. Esta modalidad de captadores la utilizada para el diseño del sistema Vanguard, que se muestra en la Figura 62.



Figura 62. Captador del sistema Vanguard (Stine & Diver, 1994).

Este tipo de diseños presenta el inconveniente de que es necesario alcanzar un alineamiento muy preciso de una gran cantidad de espejos, lo que supone un mayor coste de fabricación.

Complementariamente, otros concentradores se han desarrollado con superficie continua, mediante el uso de pequeñas facetas solidarias a una superficie trasera que sirve de lecho. Esta superficie es una membrana estirada, y ha sido utilizada por los diseños de Schlai, Bergermann und Partner (SBP) de este tipo de superficies. Este es el caso del captador utilizado en el sistema Eurodish, que se muestra en la Figura 63.



Figura 63. Captador del sistema Eurodish (Stine & Diver, 1994).

Por último, otros concentradores desarrollados están formados por multifacetas, como se puede observar en la siguiente figura (modelo SAIC).



Figura 64. Captador del modelo SunDish de SAIC/STM (Stine & Diver, 1994).

#### 10.2.6.1.2. Receptor

El receptor es el elemento en el que se proyecta el flujo concentrado. Por tanto, se trata de un elemento donde se presentan muy elevadas temperaturas y que hace la función de captar la máxima energía térmica posible.

La superficie concentradora ideal redirige todos y cada uno de los rayos que en ella inciden sobre el mismo punto. Sin embargo, existen dos factores principales debidos a los cuales este fenómeno no ocurre: las irregularidades superficiales y la existencia de un cono solar debido al cual los rayos

del Sol no inciden paralelos entre sí sobre la superficie receptora. Por tanto, la concentración solar se distribuye en una pequeña región más grande que un solo punto.

El tipo de receptor utilizado en este tipo de tecnología se corresponde con una cavidad con una pequeña apertura para la entrada del flujo concentrado. La existencia de la cavidad se debe a la reducción en lo posible de pérdidas térmicas, en su mayoría radiantes debido a las elevadas temperaturas alcanzadas.

El absorbedor es aquel elemento situado en el receptor que es capaz de transferir la energía térmica sobre él proyectada al objetivo final del mismo, ya sea el fluido de trabajo del motor Stirling (para la producción de electricidad), la generación directa de vapor o el calor a proceso. Este elemento se coloca en la parte más profunda de la cavidad para evitar que sobre él se proyecten picos excesivos de flujo concentrado (Blázquez Carnerero, 2011).

### 10.3. Indicadores clave de la tecnología solar térmica de concentración

#### 10.3.1. Superficie disponible

La evaluación de la superficie disponible es fundamental para determinar el potencial de generación de energía térmica mediante concentración solar en una zona específica. Esta medida representa el espacio físico disponible para la instalación de sistemas de concentración solar, y define la capacidad máxima teórica de producción de energía térmica que se puede lograr.

Se debe considerar la superficie disponible tanto en el diseño de proyectos de energía solar térmica de concentración como en la planificación de la infraestructura necesaria. Este factor no solo influye en la viabilidad económica y técnica de los proyectos, sino también en la selección del tipo de tecnología de energía solar térmica de concentración adecuada y en la eficiencia global de los sistemas instalados.

Al evaluar la superficie disponible para sistemas de concentración solar térmica, es importante tener en cuenta varios aspectos clave:

- Identificación de áreas con alta irradiación solar y condiciones climáticas favorables.
- Consideración de la topografía y pendiente del terreno.
- Evitar obstrucciones y sombras que puedan reducir la captación de radiación solar.
- Aseguramiento de acceso y disponibilidad de la superficie a largo plazo.
- Cumplimiento de regulaciones y permisos relacionados con el uso del suelo.

#### 10.3.2. Temperatura del proceso

La temperatura del proceso es otro indicador clave en la tecnología solar térmica de concentración, fundamental para evaluar su rendimiento y aplicabilidad en distintos contextos industriales. Esta temperatura determina la capacidad del sistema para generar calor a niveles específicos requeridos por procesos industriales, como la producción de vapor, la desalinización o la refrigeración solar asistida.

La selección adecuada de la temperatura de proceso es esencial para optimizar la eficiencia energética y económica de los sistemas de concentración solar térmica. Aspectos como la capacidad de alcanzar y mantener temperaturas elevadas de manera constante, la compatibilidad

con los requerimientos técnicos de los procesos industriales y la integración con sistemas de almacenamiento térmico juegan un papel crucial en la viabilidad y rentabilidad de los proyectos.

### 10.3.3. Demanda de calor del proceso industrial

La demanda de calor requerida en un proceso industrial es fundamental en la determinación de los requisitos térmicos específicos que debe cumplir la tecnología solar térmica de concentración. Esta demanda varía significativamente según la naturaleza del proceso industrial, que puede abarcar desde la producción de vapor y la desalinización hasta la generación de calor para aplicaciones diversas como la refrigeración solar asistida. La adecuada selección del sistema de almacenamiento térmico es fundamental y está estrechamente ligada a las características de la demanda de calor del proceso industrial (Ruiz C., 2020).

### 10.3.4. Capacidad de Almacenamiento

Al integrar sistemas de almacenamiento térmico en estas instalaciones, se asegura que puedan operar incluso cuando la radiación solar no esté disponible de manera continua. Este almacenamiento permite acumular energía solar durante períodos de alta radiación para luego liberarla cuando sea necesario, extendiendo así la disponibilidad de calor a lo largo del día y compensando las fluctuaciones en el recurso solar.

La cantidad de energía que puede almacenarse y la capacidad de suministrar energía térmica durante los períodos sin radiación solar son indicadores clave a la hora de diseñar un sistema de energía solar térmica de concentración. Las horas de almacenamiento térmico hacen referencia a cuánto tiempo puede operar el sistema sin recibir radiación directa, calculadas a partir de la energía almacenada dividida entre la potencia nominal. Por otro lado, la capacidad máxima de almacenamiento térmico (en MWth) describe la máxima cantidad de calor que el sistema puede almacenar y suministrar en una descarga completa desde unas condiciones iniciales determinadas.

## 10.4. Criterios para el cálculo de la producción y dimensionado de la instalación solar

### 10.4.1. Criterios generales para el dimensionado de campos solares

En el presente apartado, se presentan diversos criterios organizados en diferentes secciones. Se recomienda consultar el apartado de la guía referente a normativas para una comprensión más completa.

#### 10.4.1.1. Temperatura de diseño

Considerando la máxima temperatura de operación, se aplica un margen superior del 5% al 10% para determinar la temperatura de diseño. Este margen asegura que el sistema pueda manejar variaciones inesperadas en las condiciones operativas. Por otro lado, dependiendo del criterio de la ingeniería, se puede disponer del número o redondear a su apreciación.

#### 10.4.1.2. Presión de diseño

Determinada la temperatura de diseño se obtiene la presión de saturación para dicha temperatura en función del fluido, añadiéndole columna de fluido si es necesario. A continuación, se evalúan las pérdidas de carga para caudal de diseño máximo, incorporando un margen de seguridad del 10%.

Sumándose el valor obtenido en referencia a las pérdidas de carga, con el referente a la presión de saturación mencionado en el primer párrafo y redondeando según consideración de diseño, se obtiene la presión de diseño.

#### 10.4.1.3. Pérdida de carga

La pérdida de carga depende del caudal y del diámetro de la tubería seleccionada, ya que una modificación afecta al circuito completo. Por lo tanto, la selección de tubería para un caudal determinado no debe generar una pérdida de carga excesiva ya que afecta a la selección de grupos de bombeo, así como presión de diseño.

La pérdida de carga lineal de una tubería es:

$$\Delta_{H/L} = \frac{fv^2}{D2g} \quad (4)$$

Donde:

- $\Delta_{H/L}$ , Pérdida de carga lineal (m.c.l./m.)
- f, Coeficiente rozamiento, adimensional.
- v, Velocidad fluido (m/s).
- D, Diámetro interior (m).
- G, Gravedad (m/s<sup>2</sup>).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{k}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (5)$$

Donde:

- Re, número Reynolds  $Re = \frac{\rho v D}{\mu}$
- $\rho$ , densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>).
- $\mu$ , viscosidad dinámica fluido (kg/m<sup>3</sup>·s).
- k, coeficiente rugosidad.

La velocidad del fluido suele definirse entre 1 – 3 m/s. Aunque existe el criterio técnico – económico que influye en la elección de diámetros.

#### 10.4.1.4. Aislamiento

El aislamiento de los circuitos, así como el almacenamiento, influyen en las pérdidas térmicas en una tubería, según la expresión:

$$Q_{loss} = U \cdot L \cdot (T_{fluid} - T_{amb}) \tag{6}$$

Donde:

- $Q_{loss}$ , Pérdida potencia térmica (W).
- L, Longitud tubería (m).
- $T_{fluid}$ , Temperatura fluido (°C).
- $T_{amb}$ , Temperatura ambiente (°C).
- U, Coeficiente pérdida térmica (W/(m·K)).

$$U = \frac{\pi}{\frac{1}{2\lambda_{ais}} \ln\left(\frac{d_e - 2s_{ais}}{d_e}\right) + \frac{1}{\alpha_e(d_e + 2s_{ais})}} \tag{7}$$

Donde:

- $\lambda_{ais}$ , Conductividad aislamiento (W/(m·K)).
- $d_e$ , Diámetro externo tubería (m).
- $s_{ais}$ , Espesor aislamiento (m).
- $\alpha_e$ , Coeficiente transferencia convección externa (W/(m<sup>2</sup>·K)).

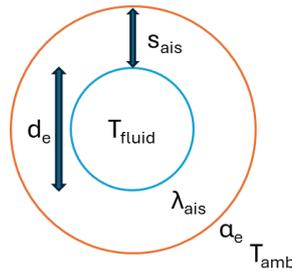


Figura 65. Esquema aislamiento tubería

Las pérdidas térmicas de los diferentes circuitos no solo dependen de la temperatura del fluido sino del diámetro de la tubería. Cuanto mayor temperatura del fluido y diámetro de la tubería, mayor necesidad de aislamiento.

Los materiales más utilizados como aislamiento son fibra de vidrio, lana de roca, entre otros. El material empleado debe soportar las altas temperaturas de trabajo. Por otro lado, el aislamiento al estar en su mayoría expuesto en el exterior debe ser protegido para evitar humedad, que aumenta las pérdidas térmicas, así como en ciertas áreas radiación indirecta. En este caso, la protección más habitual es la chapa de aluminio.

#### 10.4.1.5. Dilatación térmica

Los circuitos están expuestos a variaciones de la temperatura de fluido dependiendo del modo de operación. Estas variaciones de temperatura generan dilataciones y contracciones en los materiales de las tuberías, por lo es necesario considerar los coeficientes de dilatación lineal, que se muestran a continuación:

Material	Coefficiente dilatación lineal ( $10^{-3} \text{ mm}/(\text{m}\cdot\text{K})$ )
Acero	13
Cobre	16,6
Aluminio	22,2

Tabla 12. Coeficientes de Dilatación Lineal de Materiales de Tuberías.

Con el objeto de evitar la aparición de dilataciones mecánicas debido a las expansiones térmicas se emplean compensadores de dilatación o liras – cambios de sentido.

#### 10.4.1.5.1. Compensador

Se emplea para longitudes reducidas, a veces en interiores o skids.

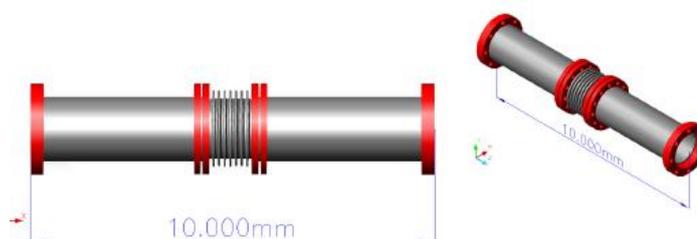


Figura 66. Catálogo CORACI

#### 10.4.1.5.2. Lira

Se emplea para longitudes importantes, siempre que exista disponibilidad de espacio.

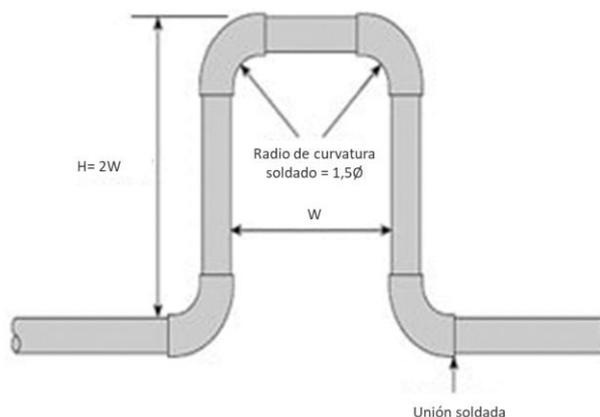


Figura 67. Lira

#### 10.4.1.6. Bombas

La elección de bombas se realiza en base a las condiciones de operación, debiendo considerarse un máximo rendimiento mecánico y eléctrico.

La selección del material de los componentes de las bombas viene determinada por las condiciones operativas de la instalación, principalmente temperatura y fluido de trabajo. Los materiales deben ser capaces de trabajar a las temperaturas de operación de forma continua, y aunque en ocasiones

estas pueden superarse, no es conveniente someterlas frecuentemente a elevados picos de temperatura.

Con el objeto de regular el caudal que circula por la instalación, se pueden combinar o proceder de la siguiente manera:

- **Sistema electrónico:** constituidos por bombas de caudal variable que regulan la velocidad del rotor mediante variador de frecuencia (método eficiente en la operación).
- **Sistema hidráulico:** compuesto de válvula reguladora que genera una pérdida de carga adicional en la impulsión de la bomba, reduciendo el caudal.

En la figura a continuación se muestran las curvas de funcionamiento de una bomba con variador de frecuencia. Las curvas paralelas  $H_b$  y  $H_{b'}$  corresponden a la curva característica de la bomba para dos regímenes de giro diferentes. La curva  $H_i$ , es la curva de funcionamiento de la instalación y corta a las curvas mencionadas en dos puntos de funcionamiento, disponiendo de dos caudales.

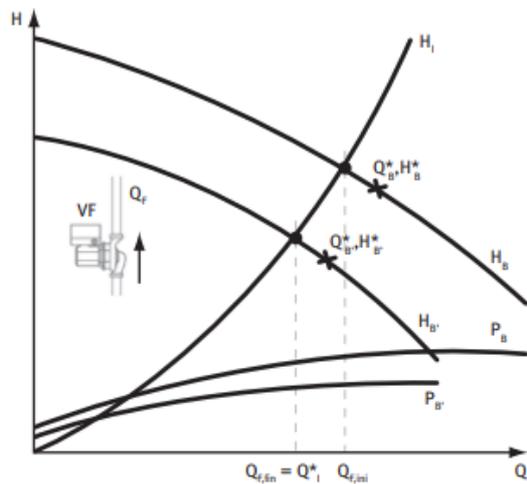


Figura 68. Puntos homólogos de una bomba a distinta velocidad de giro (IDAE, Guía técnica Selección de equipos de transporte de fluidos. Bombas y ventiladores., 2012).

#### 10.4.1.7. Intercambiador de calor

El intercambiador de calor es el punto de transferencia de calor entre diferentes circuitos. El calor transferido en el intercambiador entre circuitos viene definido por la siguiente expresión:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \tag{8}$$

Donde:

- Q, Potencia térmica (W).
- U, Coeficiente global de transmisión de calor del intercambiador (W/m<sup>2</sup>·K).
- A, Área intercambio térmico (m<sup>2</sup>).
- ΔT, Diferencia de temperaturas entre un circuito y otro (T<sub>1</sub>-T<sub>2</sub>) (K).

Habiendo dos tipos de intercambiadores, siempre condicionados por la presión y temperatura de diseño.

#### 10.4.1.8. Intercambiadores de placas

Los intercambiadores de placas tienen una serie de placas delgadas que se apilan dentro de un bastidor. El fluido de uno de los circuitos se distribuye por los espacios existentes entre placas alternas mientras que el fluido procedente del otro circuito hace lo mismo por el otro lado. La potencia de intercambio se obtiene aumentando la superficie del intercambiador, es decir aumentando el tamaño del bastidor y el número de placas.

La estanqueidad entre los fluidos de ambos circuitos se obtiene mediante juntas ubicadas perimetralmente a las placas de transferencia térmica.

Los intercambiadores de placas tienen dimensiones y pesos reducidos, así como su mantenimiento es bastante sencillo. Su diseño permite desmontar fácilmente las placas que conforman el intercambiador y limpiarla una a una. Por otro lado, su tamaño es considerablemente menor que a otras alternativas.

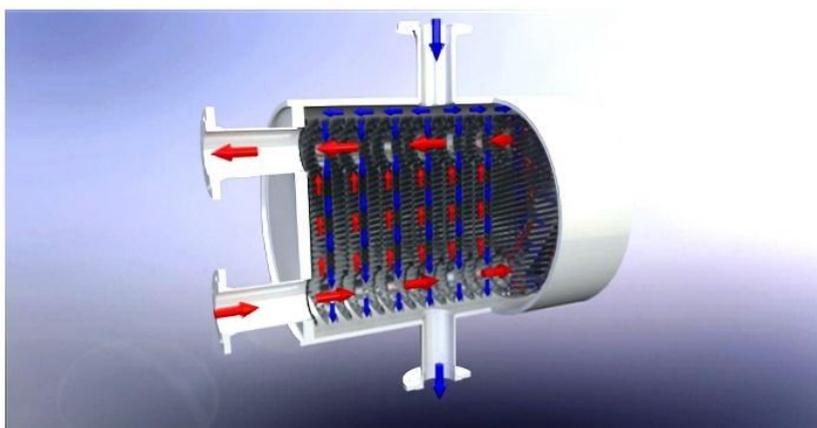


Figura 69. Intercambiador de placas

#### 10.4.1.9. Intercambiador de carcasa y tubos

Se dispone de un haz tubular que se introduce en una carcasa cilíndrica. Un fluido circula por los tubos y el otro por el espacio situado entre la carcasa y los tubos. Estos intercambiadores pueden trabajar a presiones y temperaturas mayores, ya que pueden disponer de un diseño soldado, aunque también existen de juntas.

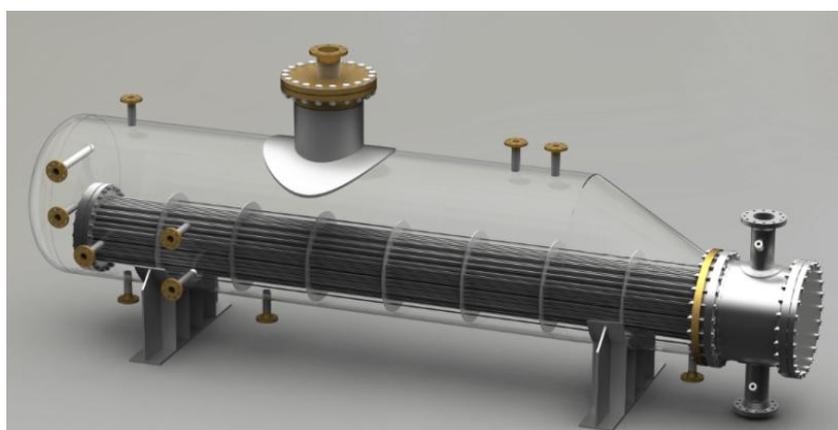


Figura 70. Intercambiador de carcasa y tubos

#### 10.4.1.10. Sistema de expansión

El sistema de expansión es el encargado de absorber los cambios de volumen del líquido en los diferentes sistemas. Suele disponerse de un sistema que amortigua las pequeñas variaciones, que es un depósito cerrado de acero que contiene nitrógeno, donde el volumen del gas es reducido conforme aumenta la temperatura del fluido.

Por otro lado, existe otro sistema que amortigua las grandes variaciones, que bien puede ser igual que el mencionado anteriormente, perteneciente al mismo circuito solar. O bien en otro circuito independiente, donde se bombea agua al circuito solar en el caso de enfriarse y se vacía el sistema expansión o mediante el uso de válvulas de descarga se llena dicho sistema de expansión, debido al calentamiento del circuito solar. La diferencia importante es que este último consume menos nitrógeno, y factible para instalaciones con gran volumen de líquido.

#### 10.4.1.11. Estrategia de control

La regulación de la planta solar, el almacenamiento, así como la posible hibridación, conjuntamente con la integración del proceso industrial, debe ser sometida a procesos de control que eviten la pérdida de energía a lo largo del año, puesto que se trata de una generación variable, con una demanda variable y que se hibrida con otras generaciones variables.

Por ello, se deben definir diferentes modos de operación para automatizar, complementados con el desarrollo de lógica diferente a la realizada hasta ahora realizando estimación de demanda y generación, para una gestión mejor, basada en la disposición de transiciones, no entre modos de operación, sino que puedan ir a varias opciones de modos de operación. El objetivo de esta aproximación es, por lo tanto:

- Optimizar el aprovechamiento de la energía solar, minimizando las pérdidas o inestabilidad generada en transiciones.
- Optimizar el uso del almacenamiento, a través de una correcta gestión del almacenamiento, evitando deficiencias o excesos en la demanda térmica.
- Optimizar la cobertura de la demanda energética, evitando superar los límites de diseño o trasladar las inestabilidades a la demanda térmica.
- Gestionar el funcionamiento correcto de los sistemas, para evitar operaciones no deseadas, teniendo en cuenta las inercias del sistema.

### 10.4.2. Criterios para el dimensionado de campos solares con captadores cilindroparabólicos

Tal y como sucede con cualquier sistema energético en el que la fuente de energía es variable, el diseño de un campo de captadores cilindroparabólicos debe considerar que la potencia térmica que suministrará la instalación en cada instante dependerá de las condiciones que existan en ese preciso momento (Zarza, 2023).

#### 10.4.2.1. Parámetros de diseño

En este sentido, lo primero que hay que tener en consideración para diseñar un campo de CCPs es que la potencia térmica que entregue solo será igual a la nominal cuando las condiciones de contorno (radiación solar disponible, temperatura ambiente, etc.) sean iguales a las supuestas para

el diseño. En este sentido, el punto de diseño corresponde a los parámetros considerados para el diseño del campo de CCPs, los cuales se corresponden con:

- Orientación del eje de giro de los captadores.
- Día y hora para el punto de diseño.
- Ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre los captadores.
- Radiación solar directa y temperatura ambiente.
- Temperaturas de entrada y salida del campo de captadores.
- Potencia térmica del campo de captadores.
- Tipo de fluido de trabajo.
- Operación y mantenimiento de instalaciones.

A continuación, se presentan aspectos clave de estos parámetros.

#### 10.4.2.2. Orientación del eje de giro de los captadores solares

Los captadores cilindroparabólicos están típicamente instalados en el campo de captadores de forma que sus ejes de rotación están orientados norte-sur o este-oeste. Sin embargo, cualquier otra orientación es posible, siempre que la orientación sea la misma para todas las filas. Si la orientación de las filas no fuera la misma, la radiación disponible sobre ellas variaría mucho de unas filas a otras, por tener un diferente ángulo de incidencia, y ello dificultaría la controlabilidad de la temperatura del fluido de trabajo a la salida del campo de captadores (Zarza, 2023).

Las variaciones estacionales en la energía térmica suministrada por un CCP a lo largo de días diferentes vienen determinadas por dos parámetros principales: el ángulo de incidencia de la radiación solar sobre el plano de abertura de los captadores, y el número de horas de Sol disponibles. En este sentido, las variaciones estacionales en la energía térmica diaria suministrada por captadores orientados norte-sur son bastante grandes, porque la energía suministrada diariamente puede ser varias veces mayor durante los meses de verano que en los meses de invierno. Las variaciones estacionales en la energía liberada para orientación este-oeste son mucho menores. Esto permite tener un aporte térmico más estable durante todo el año, aunque la energía total suministrada en un año completo por un captador orientado norte-sur es mayor que la suministrada por un captador orientado este-oeste. Este es el motivo por el que los captadores de las centrales termosolares se suelen orientar en dirección norte-sur, ya que lo que importa es producir el máximo de energía, siendo de poca importancia si se produce más en verano o en invierno.

Considerando lo anterior, la elección de la orientación debe considerar cuestiones tales como:

- Si se desea producir más energía térmica en verano que en invierno, la orientación adecuada es norte-sur.
- Si interesa producir una mayor cantidad de energía en el año, aunque en verano se produzca bastante menos energía que en invierno, la orientación más adecuada es norte-sur.
- Por último, si se desea que la aportación de energía térmica del campo solar sea similar en verano e invierno, lo más adecuado es la orientación este-oeste.

#### 10.4.2.3. Día y hora para el punto de diseño

El día que se elija para el punto de diseño debe tener en cuenta la orientación seleccionada para los captadores. En el caso de que se opte por una orientación norte-sur, las mayores diferencias estacionales entre verano e invierno, tanto en la potencia térmica pico como en la energía suministrada a lo largo del día, es necesario considerar que si se diseña el campo de captadores para que dé la potencia térmica nominal en verano ocurrirá que en invierno dará una potencia térmica que será del orden de la mitad de la de verano, y que la energía suministrada durante el día será del orden de la tercera parte de la suministrada en un día típico de verano (Zarza, 2023).

En cualquier caso, un aspecto clave a la hora de elegir el día para el punto de diseño es tener presente las variaciones estacionales que se producen en la potencia térmica pico y en la energía térmica diaria suministrada por el campo de captadores, las cuales son fruto del diferente número de horas de sol durante el día y del diferente ángulo de incidencia de la radiación solar sobre los captadores solares.

Por último, en cuanto a la hora para el punto de diseño, lo habitual es elegir las 12:00 hora solar, que es cuando el Sol está en el zenit y presenta una mayor estabilidad la radiación solar directa.

#### 10.4.2.4. Ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre los captadores

Una vez fijada la orientación de los captadores, la ubicación del campo de captadores, el día y la hora para el punto de diseño, el cálculo del ángulo de incidencia es resultado de un cálculo matemático, de forma que basta usar la ecuación correspondiente a la orientación de los captadores que se haya seleccionado y se obtendrá el valor del ángulo de incidencia (Zarza, 2023).

#### 10.4.2.5. Radiación solar directa y temperatura ambiente

Tanto la radiación solar directa como la temperatura ambiente que debe considerarse para el diseño de un campo de captadores cilindroparabólicos son los que resulten habituales para el día y la hora de diseño elegidas. En consecuencia, estos dos valores deben tomarse de los datos meteorológicos típicos medidos en el lugar donde se va a instalar el campo solar (Zarza, 2023).

En este sentido, el parámetro cuya medición es más compleja es la radiación solar directa. Para ello, si se dispone de valores reales de temperatura ambiente y radiación solar global, existen algoritmos que permiten estimar el valor de la radiación solar directa a partir de los valores de la radiación solar global.

#### 10.4.2.6. Temperaturas de entrada y salida del campo solar

En los sistemas solares para aplicaciones industriales para calor de proceso, usualmente en el proceso existe previamente una caldera alimentada con gas natural o diésel que produce vapor para el proceso. En este caso, las temperaturas de entrada y salida del campo solar vienen determinadas por las temperaturas de trabajo del propio proceso al que se desea alimentar (Zarza, 2023).

La temperatura del fluido de trabajo a la salida del campo solar debe ser, al menos, 30-40°C superior a la del vapor saturado que se desea producir. Si se desea producir vapor sobrecalentado, la

temperatura del fluido de trabajo a la salida del campo solar deberá ser, al menos, 20-25°C superior a la del vapor sobrecalentado. Por otra parte, en estos procesos industriales que consumen energía térmica, el vapor se condensa y enfría dentro del proceso y vuelve como condensado a la caldera. En este sentido, la temperatura del aceite a la entrada del campo solar debe ser de unos 10-15°C superior a la temperatura del condensado que entra a la caldera.

#### 10.4.2.7. Potencia térmica del campo de captadores

La potencia térmica del campo de captadores determina durante el proceso de dimensionamiento del campo solar el número de filas de captadores que se necesitan. En aquellos casos en los que no existe un almacenamiento térmico, la potencia térmica nominal del campo de captadores viene impuesta por la potencia térmica demandada por el proceso, de modo que la potencia térmica del campo solar debe ser igual a la potencia térmica del proceso más las pérdidas térmicas que existan. No obstante, si se instala un sistema de almacenamiento térmico, la potencia térmica nominal es un resultado del dimensionamiento, no un dato de partida (Zarza, 2023).

#### 10.4.2.8. Tipo de fluido de trabajo

Actualmente, el fluido de trabajo usado casi en exclusiva para campos de captadores cilindroparábolicos es el aceite térmico. Cuando la temperatura de trabajo es inferior a los 190°C puede usarse también agua o mezclas de agua con anticongelante. Para temperaturas iguales o superiores a los 200°C el único fluido de trabajo que existe actualmente disponible es el aceite térmico (Zarza, 2023).

Por otro lado, también puede usarse la generación directa de vapor, es decir, el uso de agua como fluido de trabajo en el campo de captadores, de modo que el agua líquida se convierta en vapor sobrecalentado o saturado al recorrer el campo solar. No obstante, el uso de generación directa de vapor conlleva una mayor complejidad desde el punto de vista técnico que ha impedido una mayor implementación a nivel comercial.

#### 10.4.2.9. Cálculo del número de captadores en serio dentro de cada fila

El dimensionamiento del campo de captadores consta de dos pasos:

- Cálculo del número de captadores que deben conectarse en serio dentro de cada fila.
- Cálculo del número de filas que deben conectarse en paralelo.

El número de captadores,  $N$ , que es necesario conectar en serie dentro de cada fila depende del incremento de temperatura,  $\Delta T$ , requerido por el proceso industrial alimentado por el campo de captadores (Zarza, 2023). El número de captadores, por lo tanto, viene dado por el cociente:

$$N = \frac{\Delta T}{\Delta T_C} \quad (9)$$

Donde:

- $N$ , número de captadores a conectar en serie dentro de una fila.
- $\Delta T$ , incremento de temperatura demandada por la aplicación industrial.

- $\Delta T_C$ , diferencia entre la temperatura del fluido de trabajo a la entrada y salida de un captador. Este valor se calcula a partir de los datos suministrados por el fabricante del captador (rendimiento térmico, modificador por ángulo de incidencia, caudal nominal del fluido de trabajo, etc.).

Complementariamente, es necesario considerar que cuando el fluido de trabajo en los captadores es aceite térmico o cualquier otro fluido intermedio de transferencia de calor entre el campo solar y el generador de vapor que alimenta al proceso industrial, a la hora de fijar la temperatura que ha de tener el fluido a la salida del campo solar hay que considerar que esta ha de ser superior a la temperatura que se desea que tenga el vapor que se genere en el intercambiador de calor alimentado por el campo solar.

#### 10.4.2.10. Cálculo del número de filas en paralelo que precisa el campo solar

Una vez que se ha calculado el número de captadores a conectar en serie dentro de cada fila, el siguiente paso en el dimensionamiento del campo solar es determinar el número de filas que deben ser instaladas en paralelo en el campo solar. Este número depende de la potencia térmica demandada por el proceso industrial a alimentar. Cuanto mayor sea esta potencia, mayor es el número de filas paralelas necesarias. El procedimiento para determinar el número de filas necesarias depende del tipo de sistema solar que se quiera diseñar: con o sin almacenamiento (Zarza, 2023):

- Si el diseño no incluye un sistema de almacenamiento térmico, el cálculo del número de filas paralelas necesario se realiza dividiendo la potencia térmica total que demanda el proceso que se va a alimentar con el campo de captadores por la potencia que da una fila de captadores en el punto de diseño. La potencia nominal de una fila viene dada por la suma de las potencias térmicas de cada uno de los captadores que la componen.
- Si el diseño precisa de un sistema de almacenamiento térmico, es necesario determinar primero la cantidad de energía térmica que debe suministrar el campo solar durante las horas de Sol en el día de diseño. En este caso, es el usuario industrial el que define durante cuantas horas desea que el sistema solar que se está diseñando alimente al proceso funcionando a carga nominal durante el día de diseño. A partir de este dato, la energía total que debe suministrar el campo solar en el día de diseño se obtiene multiplicando la potencia térmica demandada por el proceso cuando funciona a carga nominal por el número de horas que debe funcionar el proceso con la energía suministrada por el campo de captadores.

## 10.5. Almacenamiento térmico

El almacenamiento de energía consiste en conservar una determinada forma de energía para su uso posterior en otras operaciones. Todas las formas de energía, ya sea potencial (como la química o gravitatoria), cinética, eléctrica o térmica, pueden ser almacenadas mediante distintos métodos, sistemas o tecnologías, lo que implica que cada forma de energía tiene su propio acumulador (ver Figura 71) (Zarza, 2023).

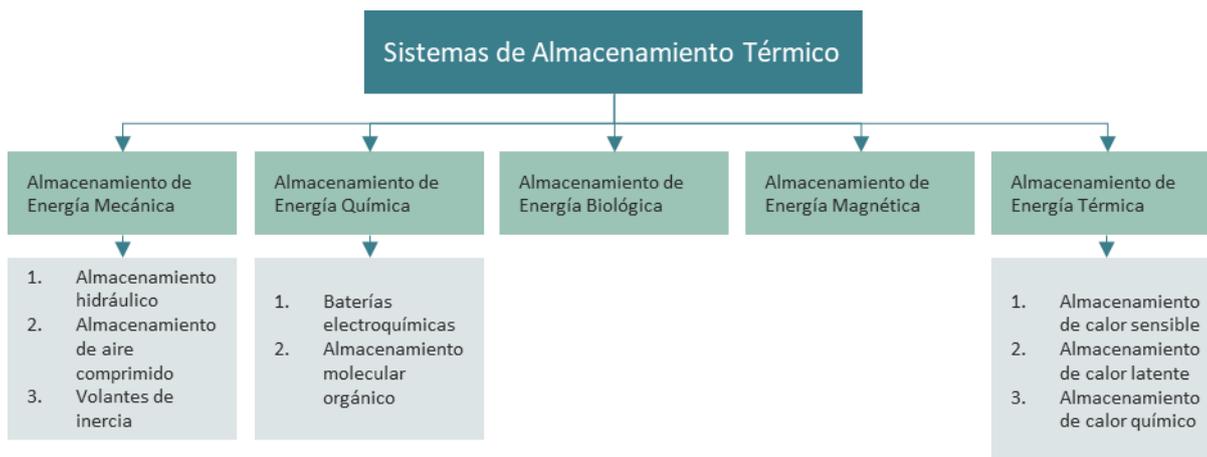


Figura 71. Clasificación de los sistemas de almacenamiento de energía (Gil, y otros, 2010).

En particular, la generación de calor en una planta de energía solar térmica de concentración debe estar orientada a cubrir la demanda diaria de calor del proceso industrial (o al menos, la mayor parte de esta demanda que sea posible con las limitaciones existentes en cada caso). No obstante, no es posible cubrir todos los períodos de demanda de un proceso industrial a lo largo del año debido a la intermitencia del recurso solar. Para abordar estas fluctuaciones, se puede optimizar la generación de calor en una planta solar térmica de concentración mediante la incorporación de un sistema de almacenamiento térmico. Los sistemas de almacenamiento de energía térmica (TES por sus siglas en inglés) tienen el potencial de mejorar la eficiencia del proceso y de facilitar la transferencia de energía a gran escala. Estos sistemas son útiles para equilibrar la oferta y la demanda de energía. La selección del sistema de almacenamiento adecuado depende siempre de las condiciones de la demanda de calor del proceso industrial, de la tecnología específica utilizada en la instalación y de otros factores, como la ubicación de la planta (Ruiz C., 2020).

Los sistemas de almacenamiento térmico son especialmente relevantes en procesos industriales que requieren aporte de calor continuo, incluyendo periodos en los que no hay radiación solar directa. Estos sistemas permiten almacenar parte de la energía térmica capturada durante el día para su uso posterior, asegurando un suministro constante incluso en ausencia de radiación solar. Por lo tanto, entre las ventajas de los sistemas de almacenamiento térmico destacan las siguientes:

- Permiten asegurar el suministro de energía térmica en horas de ausencia de radiación solar directa, con lo cual no es necesario que los períodos de captación de la energía solar y el suministro de energía térmica al proceso sean coincidentes.
- Permiten suministrar una potencia térmica constante al proceso industrial, independientemente de la disponibilidad de radiación solar directa que haya en un determinado momento.
- Permiten aislar la entrada del campo de captadores de las posibles perturbaciones que ocurran en la salida, dado que el sistema de almacenamiento actúa como un “colchón térmico”, evitando la realimentación directa de las perturbaciones que afectan a la temperatura a la salida del campo de captadores.

### 10.5.1. Clasificación de sistemas de almacenamiento térmico

En primer lugar, es importante señalar que los sistemas de almacenamiento térmico se clasifican en las siguientes categorías básicas:

- Sistemas de almacenamiento de calor sensible.
- Sistemas de almacenamiento de calor latente.
- Sistemas de almacenamiento mediante reacciones químicas.

En ausencia de un sistema de almacenamiento térmico, la potencia térmica que se le puede suministrar al proceso en cada instante es la misma que la que suministre el campo de captadores solares, la cual varía acorde a la radiación solar directa que haya disponible en ese momento. Esta situación se muestra de forma ilustrativa en la Figura 72, en la que se observa que si se dispone de un sistema de almacenamiento térmico se puede almacenar la energía térmica excedente durante las horas en las que hay radiación solar (superávit de energía), para poderla recuperar y alimentar el proceso industrial con esta cuando no hay radiación solar disponible o cuando resulta insuficiente la potencia térmica dada por el campo solar (déficit de energía).

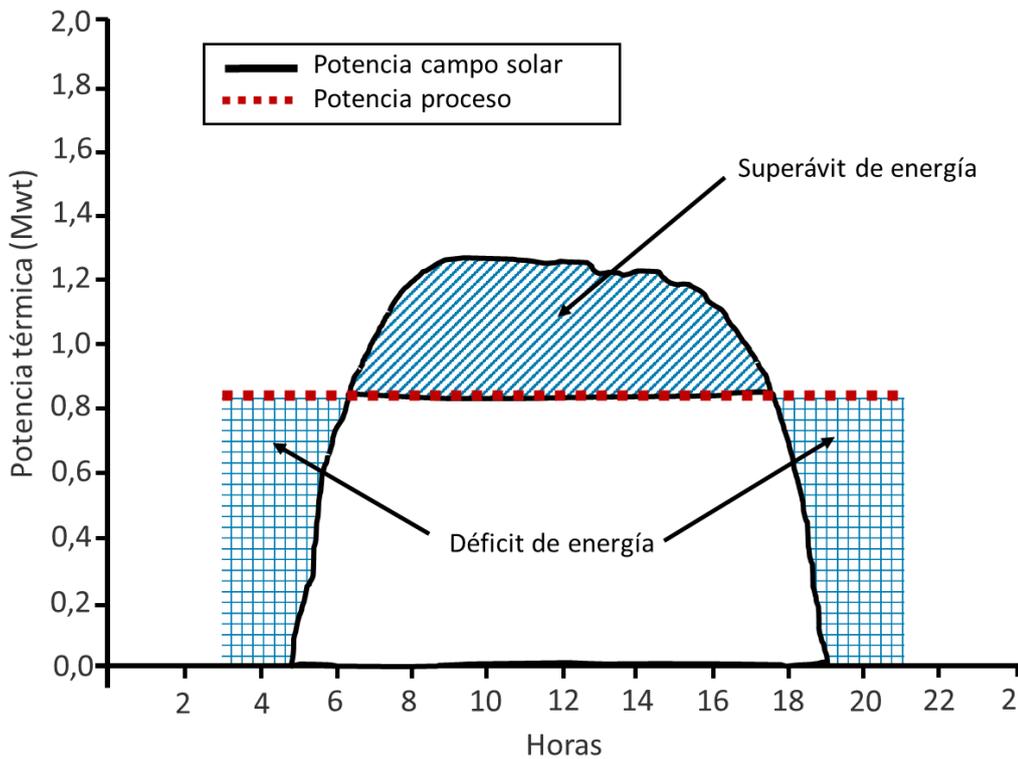


Figura 72. Potencia térmica producida por el campo solar y demandada por el proceso.

Si el dimensionamiento del campo solar ha sido realizado correctamente, la suma de las áreas deficitarias será equivalente al área de superávit de energía, de modo que la energía excedente será enviada al sistema de almacenamiento para ser usada durante los periodos de déficit.

Tal y como se observa en el caso particular de la Figura 72, la potencia térmica nominal del campo solar es superior a la potencia nominal del proceso. Esta casuística puede producirse en aquellos casos en los que el campo solar ha sido dimensionado para mantener funcionando el proceso

durante un número de horas superior al de horas de radiación solar durante el día de diseño y, en consecuencia, la potencia nominal del campo solar debe ser mayor que la del proceso industrial asociado.

En relación con lo anterior, es necesario señalar que el sistema de almacenamiento de agua caliente utilizado en los sistemas de conversión a baja temperatura (captadores solares planos) no es adecuado para los sistemas de conversión a media y alta temperatura debido a que la alta presión que habría en el tanque de almacenamiento como consecuencia de la presión del vapor de agua por encima de los 100°C reduce la viabilidad de estos sistemas desde el punto de vista económico, como consecuencia de los grandes espesores que deberían tener las paredes del tanque de almacenamiento.

### 10.5.2. Clasificación del almacenamiento térmico en función del concepto

Después de definir los tres tipos principales de almacenamiento térmico, se procede a clasificarlos según el concepto de almacenamiento específico para instalaciones de energía solar térmica de concentración. En la Figura 73 se muestran las diversas configuraciones de sistemas TES aplicables en este tipo de instalaciones de generación de calor, las cuales se describen a continuación.

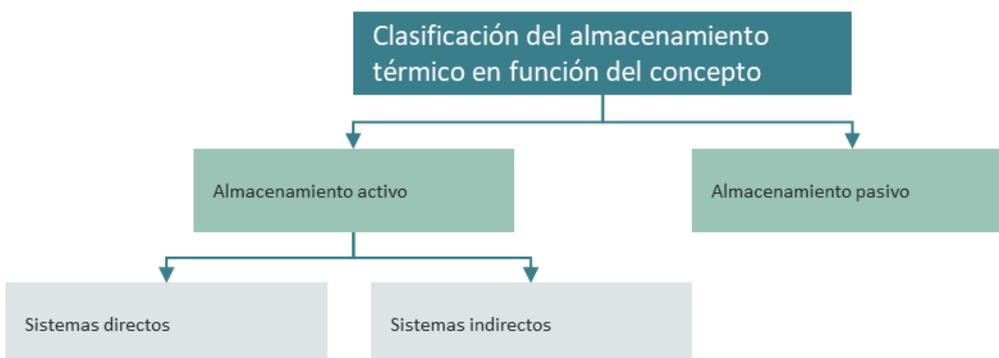


Figura 73. Clasificación en relación con el concepto de almacenamiento de las centrales termosolares (Ruiz C., 2020).

A continuación, se describen en detalle cada uno de estos sistemas.

#### 10.5.2.1. Sistemas de almacenamiento de calor sensible

La energía liberada o absorbida por un material al cambiar su temperatura se denomina calor sensible. Los sistemas de almacenamiento de calor sensible aprovechan la capacidad de ciertos materiales para absorber y liberar calor al cambiar su temperatura interna. Este proceso implica el uso de calor para elevar la temperatura de sólidos o fluidos, que luego se almacenan a la temperatura máxima de funcionamiento hasta su posterior liberación (Ortega & Gutiérrez, 2020). Por lo tanto, la energía térmica puede almacenarse mediante la variación de temperatura de una sustancia. La energía térmica almacenada en un material puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \rho \cdot C_p \cdot V \cdot \Delta T \quad (10)$$

Donde:

- $Q$ , cantidad de calor almacenado (J).
- $\rho$ , densidad de la sustancia ( $\text{kg/m}^3$ ).
- $C_p$ , capacidad calorífica del material ( $\text{J/kgK}$ ).
- $V$ , volumen del medio de almacenamiento ( $\text{m}^3$ ).
- $\Delta T$ , paso de temperatura asociado al proceso (K).

En los sistemas de almacenamiento de calor sensible se suelen utilizar principalmente dos fases: sólida y líquida. Particularmente, un ejemplo de este tipo de sistemas son los sistemas de almacenamiento en medio dual, en los que el almacenamiento de calor se efectúa en un medio diferente al fluido de trabajo que se calienta en los captadores solares. Los medios de almacenamiento más comunes en estos sistemas son placas de hierro, de materiales cerámicos, u hormigón (Zarza, 2023).

En estos sistemas, el fluido térmico actúa solo como medio de transferencia de calor entre el campo de captadores y el material donde se almacena la energía térmica en forma de calor sensible. En consecuencia, el fluido térmico circula a través de canales dispuestos entre las placas superpuestas del material de almacenamiento, transfiriendo energía térmica, en el proceso de carga, o tomando esta energía de las placas en el proceso de descarga.

Nombre HTF	Fabricante	Base de composición química
Dowtherm A / Therminol VP1	Dow Chem. / Eastman Chem.	Mezcla eutéctica de bifenilo/óxido de difenilo (DPO) (HTF orgánico sintético)
Dowtherm RP	Dow Chemical	Alquil diarílico (HTF orgánico sintético)
Therminol 66	Eastman Chemical	Terfenilo modificado (HTF orgánico sintético)
Therminol 72	Eastman Chemical	Mezcla de aromáticos sintéticos (HTF orgánico sintético)
Helisol XA	Wacker Chemie	Poli-dimetilsiloxano (Silicona)
Helisol XLP	Wacker Chemie	Poli-dimetilsiloxano (Silicona)
Marlotherm SH	Eastman Chemical	Dibenzil tolueno (HTF orgánico sintético)
Syltherm 800	Dow Chemical	Siloxano, dimetil

Tabla 13. Tipologías de aceite.

Para medios de almacenamiento sólido, el hormigón y los materiales cerámicos son comúnmente propuestos en la actualidad debido a su bajo coste, buen rendimiento mecánico y propiedades térmicas. Por otro lado, en los últimos años, se han investigado numerosos medios líquidos para sistemas de almacenamiento de calor sensible. Entre los fluidos propuestos se encuentran metales fundidos, líquidos iónicos, aceites minerales y sales fundidas, aplicables en industrias como la nuclear, petroquímica y solar (Ruiz C., 2020).

#### 10.5.2.2. Sistemas de almacenamiento de calor latente

La energía térmica puede almacenarse casi isotérmicamente en algunas sustancias como calor latente durante el cambio de fase, ya sea como calor de fusión (transición sólido-líquido) o calor de vaporización (transición líquido-vapor). En la actualidad, la transición sólido-líquido es la más utilizada, y las sustancias empleadas en esta tecnología se denominan materiales de cambio de fase (PCM por sus siglas en inglés) (Gil, y otros, 2010).

Los sistemas TES basados en calor latente son más eficientes que los que utilizan calor sensible debido a su mayor densidad de almacenamiento (Ruiz C., 2020). Estos sistemas pueden ser más compactos en comparación con los sistemas de calefacción sensible monofásicos, permitiendo almacenar grandes cantidades de energía en volúmenes relativamente pequeños, lo que se traduce en algunos de los costes de medios de almacenamiento más bajos.

Existen tres principales cambios de fase que se pueden utilizar para el almacenamiento de energía latente: líquido-gas, sólido-sólido y sólido-líquido, siendo este último el preferido para el diseño de sistemas TES de calor latente. Sin embargo, el diseño de la transferencia de calor y la selección de los medios son más complejos. Además, la experiencia con sales de baja temperatura ha mostrado que el rendimiento de los materiales puede degradarse después de un número moderado de ciclos de fusión.

Los PCM se dividen en dos categorías: inorgánicos y orgánicos. Ejemplos de PCM inorgánicos incluyen nitratos, hidróxidos, cloruros, fluoruros, carbonatos y metales líquidos, seleccionados según la temperatura de fusión/congelación deseada. Por su parte, la parafina, los ácidos grasos y los alcoholes de azúcar son ejemplos típicos de PCM orgánicos.

Ambos tipos de PCM presentan ciertos desafíos que pueden limitar su aplicación en procesos industriales. Una desventaja principal es su baja conductividad térmica, que conduce a una transferencia de calor ineficiente con el fluido de trabajo. Además, el control de la expansión térmica durante los ciclos de fusión y solidificación, así como la formación de depósitos sólidos en las áreas de transferencia de calor, son retos importantes a superar.

#### 10.5.2.3. Sistemas de almacenamiento térmico basado en reacciones químicas

A diferencia de otros tipos de energía, la energía térmica puede ser almacenada eficientemente mediante sistemas de almacenamiento basados en reacciones químicas reversibles. Estas reacciones endotérmicas pueden ser excitadas por el calor generado por el receptor solar, permitiendo así almacenar energía y recuperarla según sea necesario en el proceso. La principal ventaja de este mecanismo es su alta densidad energética inherente, lo cual lo hace especialmente atractivo para determinadas aplicaciones.

Sin embargo, su desarrollo está en una fase preliminar debido a la complejidad, el coste y la baja capacidad de transferencia de calor.

#### 10.5.2.4. Clasificación del almacenamiento térmico en función del concepto

El almacenamiento térmico también puede clasificarse según el concepto. Esta clasificación se diferencia en almacenamiento activo y pasivo. A continuación, se describe cada uno de estos tipos en detalle.

##### 10.5.2.4.1. Sistemas de almacenamiento térmico activo

Los sistemas de almacenamiento térmico activo se distinguen por su uso de convención forzada. En estos sistemas, el medio de almacenamiento, típicamente contenido en uno o dos tanques, circula a través de un intercambiador de calor para realizar la descarga del sistema. Dentro de los sistemas activos, se pueden encontrar tanto sistemas activos directos como indirectos.

- Sistemas de almacenamiento térmico activo directo

En los sistemas solares desarrollados hasta el momento, se emplea con carácter general el fluido térmico (HTF) utilizado en el campo solar también como medio de almacenamiento, lo que requiere que el material cumpla con especificaciones precisas para funcionar eficazmente en ambos roles y elimina la necesidad de utilizar un segundo fluido en el sistema.

El uso de sales fundidas o vapor como fluido térmico y material de almacenamiento al mismo tiempo elimina la necesidad de disponer de intercambiadores de calor (cuya instalación incrementaría el coste) y permite que el campo solar opere a temperaturas más elevadas que los fluidos de transferencia de calor convencionales. Por lo tanto, esta configuración simplifica el diseño de la planta y evita los costes asociados a los intercambiadores de calor necesarios para transferir calor entre dos fluidos diferentes, en caso de que fueran distintos. Las plantas de torre de sales fundidas (MST, por sus siglas en inglés) son ejemplos comunes de instalaciones de energía solar térmica de concentración que emplean sistemas de almacenamiento activo directo.

Esta configuración permite mejorar el rendimiento de la planta, si bien enfrenta desafíos derivados del punto de congelación relativamente alto de las sales fundidas. Por ello, se requieren medidas de protección contra la congelación para evitar problemas operativos y aumentos en los costes de operación y mantenimiento. Algunos estudios señalan que el uso de sales fundidas como fluido térmico solo es viable si se instala un sistema de almacenamiento térmico en paralelo. Un ejemplo de sistema directo activo es el sistema de dos tanques, donde el fluido térmico se almacena en un tanque caliente para su uso durante períodos sin sol, mientras que el fluido térmico enfriado se traslada a un tanque frío para su posterior calentamiento.

- Sistemas de almacenamiento térmico activo indirecto

Dentro de los sistemas de almacenamiento térmico activo indirectos, se encuentran el sistema de dos tanques indirecto y el sistema de tanque único, también conocido como sistema termoclina.

### Sistemas con un solo tanque

Los sistemas con un solo tanque de aceite se caracterizan porque el aceite se estratifica de acuerdo con su temperatura. En estos casos, el almacenamiento de energía se realiza calentando el aceite que contiene el tanque (Zarza, 2023).

En la Figura 74 se muestra la configuración de un sistema de este tipo, en el que el aceite caliente suministrado por el campo de captadores puede ser total o parcialmente introducido en el tanque, a partir de las válvulas de 3 vías que existen en su entrada y salida.

Particularmente, la densidad de los aceites sintéticos normalmente utilizados como fluido de trabajo en los campos de CCP presenta una fuerte variación con la temperatura, reduciéndose conforme esta última aumenta. Esta particularidad hace que el aceite caliente que entra en el tanque de almacenamiento por su parte superior permanezca en la parte superior del tanque, mientras que el aceite frío se encontrará siempre en la parte inferior.

Tal y como se observa en la Figura 74, la caldera que suministra la energía térmica demandada por el proceso industrial puede ser alimentada desde el tanque de almacenamiento o bien desde el campo de captadores, dependiendo de la posición de la válvula de 3 vías. Cuando se descarga el sistema de almacenamiento, el aceite caliente sale del tanque por la parte superior y vuelve a la parte baja del tanque después de salir de la caldera. La bomba "B2" se usa solamente para alimentar la caldera exclusivamente a partir del tanque de almacenamiento, cuando el campo de captadores no está en funcionamiento.

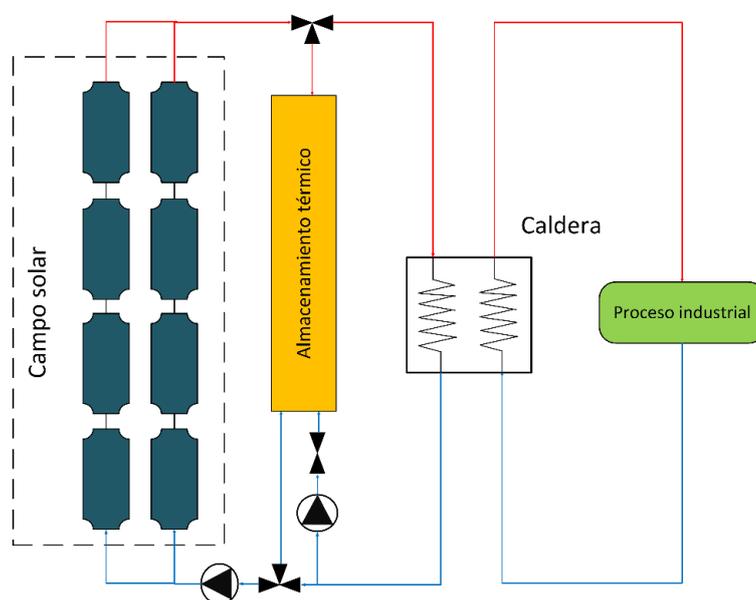


Figura 74. Sistema de almacenamiento con un solo tanque (Zarza, 2023).

### Sistemas con dos tanques

Los sistemas con dos tanques presentan un tanque caliente y un tanque frío. En estos casos, la caldera se alimenta desde el tanque caliente y una vez que el fluido térmico transfiere calor al vapor de la caldera, se envía al tanque frío (Zarza, 2023). Este tanque alimenta al campo de captadores, que a su vez alimenta el tanque caliente con el fluido térmico una vez que ha sido calentado en los captadores. El sistema de almacenamiento mediante dos tanques se utiliza cuando el volumen de

fluido térmico necesario hace inviable la construcción de un único tanque estrecho y alto para que haya estratificación en su interior. La configuración de este tipo de sistemas se muestra a continuación en la Figura 75.

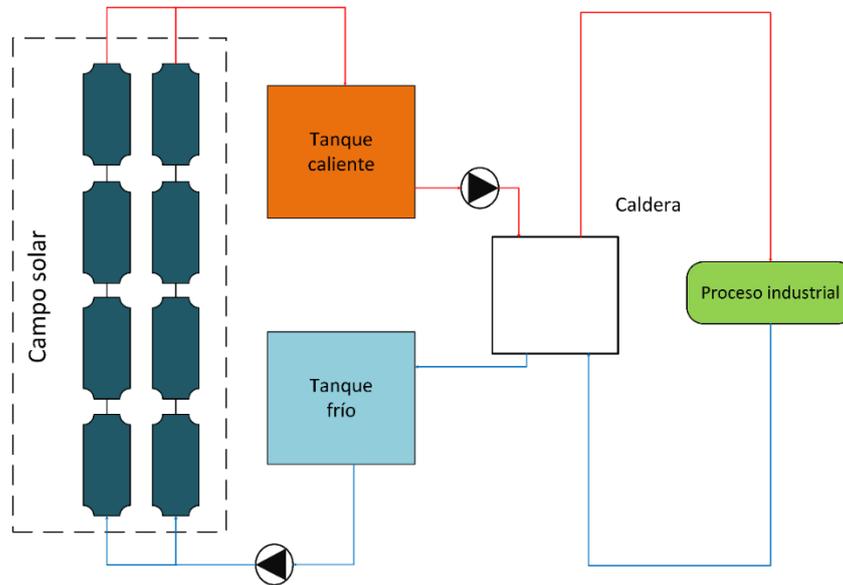


Figura 75. Sistema de almacenamiento con dos tanques de aceite (Zarza, 2023).

#### 10.5.2.4.2. Sistemas de almacenamiento pasivo

En un sistema de almacenamiento pasivo, el fluido de transferencia de calor se utiliza solo para cargar o descargar el sistema, sin que el medio de almacenamiento en sí circule. Estos sistemas pasivos son comúnmente conocidos como sistemas de almacenamiento de doble medio o regeneradores, y se utilizan principalmente con medios sólidos como el hormigón, materiales moldeables y PCM (Gil, y otros, 2010).

En el caso del almacenamiento de hormigón, la energía solar captada por el campo solar se transfiere desde el HTF al sistema de almacenamiento de material sólido. El material de almacenamiento incluye un intercambiador de calor tubular que facilita esta transferencia de energía térmica desde el HTF hacia el almacenamiento. Este tipo de intercambiador de calor supone una parte significativa de los costes de inversión. El diseño de parámetros geométricos como el diámetro y número de tubos también es crucial para optimizar el rendimiento final.

### 10.6. Posibilidades de hibridación con otras tecnologías renovables

La hibridación de la energía solar de concentración con otras tecnologías renovables hace referencia a la integración de la citada tecnología con otra u otras fuentes de energía renovable en un sistema combinado, aprovechando sinergias para mejorar la eficiencia del proceso. En este sentido, en el caso de la energía solar de concentración, la hibridación implica la combinación de sistemas de captación de energía solar concentrada con otras tecnologías renovables o convencionales para optimizar la producción de energía. Esto puede incluir la integración de sistemas de energía solar térmica de concentración con tecnologías fotovoltaica, plantas de biomasa, o incluso, plantas de ciclo combinado que utilizan gas natural u otras fuentes de energía convencionales.

En el presente apartado se hace un análisis de integración de la tecnología solar térmica de concentración con otras tecnologías, eminentemente renovables, como son las siguientes:

- Electrificación: caldera eléctrica, bomba de calor.
- Combustible renovable: caldera de biomasa, caldera de biogás, caldera de hidrógeno.
- Otras tecnologías renovables: energía geotérmica y hidrotermia.
- Combustible convencional: gas natural (si bien no se trata de un combustible renovable, se ha considerado en el presente apartado por la necesidad, en ciertos entornos, de complementar la energía solar térmica con este tipo de combustible).

En un proceso de integración entre la tecnología solar térmica y otras tecnologías renovables, es necesario considerar que existen limitaciones, siendo las principales las que se indican a continuación:

- Limitaciones técnicas:
  - a) Limitaciones relacionadas con la interconexión eléctrica con la red de distribución, las cuales pueden mitigarse a partir de sistemas de almacenamiento.
  - b) Limitaciones relacionadas con la regulación de la generación térmica (biomasa, geotérmica, bombas de calor). Particularmente, en el caso de la energía geotérmica y las bombas de calor, a partir del almacenamiento esta limitación puede también ser superada.
- Limitaciones relacionadas con la temperatura: para temperaturas superiores a 120°C, que son las que se utilizan en procesos industriales objeto de análisis en la presente guía, es necesario utilizar recursos o maquinaria específica.
- Limitaciones de recursos:
  - a) Según Sedigas, el potencial del biogás en España es de 160 TWh.
  - b) Según IDAE, el potencial de biomasa en España es de 197 TWh.

Considerando estas limitaciones, se muestra en la siguiente tabla el resultado de las diferentes posibilidades de hibridación.

Tecnologías		Caldera gas	Caldera biomasa	Caldera biogás	Caldera hidrogeno	Caldera eléctrica - Intercambiador	Bomba de calor	Geotérmica	Termosolar
Combustibles fósiles	Caldera gas	<del>X</del>	FUEL	FUEL	FUEL	OPT	LTEMP	LTEMP	OPT
Combustibles renovables	Caldera biomasa	FUEL	<del>X</del>	FUEL	FUEL	LT-LR	LT-LR-LTEMP	LT-LR-LTEMP	LT-LR
	Caldera biogás	FUEL	FUEL	<del>X</del>	FUEL	LR	LR-LTEMP	LR-LTEMP	LR
	Caldera hidrogeno	FUEL	FUEL	FUEL	<del>X</del>	OPT	LTEMP	LTEMP	OPT
Electrificación	Caldera eléctrica - Intercambiador	OPT	LT-LR	LR	OPT	<del>X</del>	TECH	LTEMP	OPT
	Bomba de calor	LTEMP	LT-LR-LTEMP	LT-LR-LTEMP	LTEMP	TECH	<del>X</del>	LTEMP	LTEMP
Renovables	Geotérmica	LTEMP	LT-LR-LTEMP	LT-LR-LTEMP	LTEMP	LTEMP	LTEMP	<del>X</del>	LTEMP
	Termosolar	OPT	LT-LR	LR	OPT	OPT	LTEMP	LTEMP	<del>X</del>

Tabla 14. Posibilidades de hibridación (1 de 3).

Donde:

- LT, limitación técnica.
- LR, limitación de recurso.
- LTEMP, limitación de temperatura.
- OPT, integración para optimizar coste.
- FUEL, sustitución de combustible.
- TECH, tecnología incompatible.

A partir del análisis anterior, considerando las limitaciones existentes, se gradúan a continuación las posibilidades de hibridación en función del número de limitaciones identificadas (1, 2 o 3 limitaciones).

Tecnologías		Caldera gas	Caldera biomasa	Caldera biogás	Caldera hidrogeno	Caldera eléctrica - Intercambiador	Bomba de calor	Geotérmica	Termosolar
Combustibles fósiles	Caldera gas	<del>X</del>	FUEL	FUEL	FUEL	OPT	1	1	OPT
	Caldera biomasa	FUEL	<del>X</del>	FUEL	FUEL	2	3	3	2
Combustibles renovables	Caldera biogás	FUEL	FUEL	<del>X</del>	FUEL	1	2	2	1
	Caldera hidrogeno	FUEL	FUEL	FUEL	<del>X</del>	OPT	1	1	OPT
	Caldera eléctrica - Intercambiador	OPT	2	1	OPT	<del>X</del>	TECH	1	OPT
Electrificación	Bomba de calor	1	3	2	1	TECH	<del>X</del>	1	1
	Geotérmica	1	3	2	1	1	1	<del>X</del>	1
Renovables	Termosolar	OPT	2	1	OPT	OPT	1	1	<del>X</del>

Tabla 15. Posibilidades de hibridación (2 de 3).

Por último, se identifican las posibilidades de hibridación que solo tienen una limitación, así como aquellas en las que este proceso de integración resulta óptimo desde el punto de vista económico.

Tecnologías		Caldera gas	Caldera biomasa	Caldera biogás	Caldera hidrogeno	Caldera eléctrica - Intercambiador	Bomba de calor	Geotérmica	Termosolar
Combustibles fósiles	Caldera Gas	<del>X</del>	FUEL	FUEL	FUEL	OPT	1	1	OPT
	Caldera biomasa	FUEL	<del>X</del>	FUEL	FUEL				
Combustible Renovables	Caldera biogás	FUEL	FUEL	<del>X</del>	FUEL	1			1
	Caldera hidrogeno	FUEL	FUEL	FUEL	<del>X</del>	OPT	1	1	OPT
	Caldera eléctrica - Intercambiador	OPT		1	OPT	<del>X</del>	TECH	1	OPT
Electrificación	Bomba de calor	1			1	TECH	<del>X</del>	1	1
	Geotérmica	1			1	1	1	<del>X</del>	1
Renovables	Termosolar	OPT		1	OPT	OPT	1	1	<del>X</del>

Tabla 16. Posibilidades de hibridación (3 de 3).

Es necesario mencionar que todas las tecnologías pueden ser integrables, pero gracias al almacenamiento térmico, existen preferencias de integración, así como un amplio rango de hibridación, permitiendo no solamente la integración de dos tecnologías sino de más.

Para una visión detallada de la posible integración de todas las tecnologías, consulte la Figura 3, que presenta un esquema de hibridación. Es fundamental evaluar las limitaciones existentes antes de llevar a cabo cualquier estudio para determinar la viabilidad del proyecto.

## 10.7. Operación y Mantenimiento de Instalaciones

El presente capítulo ha sido diseñado con el objetivo de proporcionar una guía para el correcto enfoque de la operación y mantenimiento de centrales solares de concentración destinadas a uso industrial, con independencia del nivel de experimentación en la operación de energías renovables por parte del agente que esté desarrollando un proyecto de energía solar de concentración.

### 10.7.1. Organización de la operación y mantenimiento de la planta

En relación con la gestión de la operación y mantenimiento de la planta de energía solar de concentración destinada a uso industrial, a partir de un agente especializado, es preciso considerar, típicamente, los siguientes principios:

- Garantizar que el personal clave en la organización destinado a estas tareas posea la experiencia adecuada en operación y mantenimiento.
- Implementar una estructura de gestión horizontal que cumpla con las normas locales y las mejores prácticas tecnológicas.
- Coordinar de manera efectiva entre diferentes sectores, especialmente los de operación y mantenimiento.
- Estos principios llevan a una organización que requiere un equipo especializado en la administración de operaciones, mantenimiento, ingeniería, finanzas y seguridad y salud. Este planteamiento permite la gestión simultánea de múltiples plantas con un monitoreo remoto de las instalaciones.

En términos de organización, el gerente de planta, actuando como coordinador general, debe contar con el apoyo necesario para garantizar que las tareas de mantenimiento se realicen según lo programado, asegurando que estas no interfieran con los objetivos de producción y desempeño diario de la planta. Este respaldo es brindado típicamente por un experto en ingeniería, quien se encarga del seguimiento del rendimiento de la planta, así como la identificación de posibles mejoras e innovaciones futuras cuando sea necesario.

En un área independiente, pero reportando al gerente de planta, el encargado de seguridad y salud se encarga de garantizar el cumplimiento de todas las normativas relacionadas con salud, seguridad y medio ambiente, conforme a los estándares de la empresa y los establecidos específicamente para el proyecto. Esta labor también se puede realizar de forma remota, con visitas periódicas a la planta.

Complementariamente al equipo remoto de operación y mantenimiento (O&M), existen diversos servicios que pueden contratarse para la planta, como, por ejemplo:

- Servicios de seguridad para la planta.
- Gestión y eliminación de residuos de materiales peligrosos.

- Alquiler de vehículos (camiones pesados, grúas, etc.).
- Personal auxiliar/soldadores para tareas de mantenimiento correctivo o paradas de planta.
- Servicios de limpieza, tanto para los espejos como para la instalación en general.

Esta estructura organizativa y de gestión garantiza, con carácter general, un funcionamiento eficiente y seguro de la planta solar de concentración, cumpliendo con los estándares de calidad y sostenibilidad requeridos para su óptimo desempeño.

### 10.7.2. Sistema de control

En relación con el sistema de control de una planta de energía solar térmica de concentración aplicada a un proceso industrial, los elementos clave son los siguientes:

- Control de equipos principales.
- Distribución eléctrica.
- Unidades de control de campo solar.
- Generación de calor.
- Balance de control de planta.
- Extinción y detección de incendios.
- Calor, ventilación y aire acondicionado.

A continuación se describen cada uno de estos elementos:

#### 10.7.2.1. Control de equipos principales

El sistema de control distribuido (DCS) controla y monitorea directa e indirectamente los equipos principales al transmitir comandos, iniciar y detener equipos, y recibir información de estado y alarmas.

#### 10.7.2.2. Distribución eléctrica

La distribución eléctrica es operada típicamente de forma remota desde la estación del operador. La lógica, los enclavamientos y el control de estos equipos son gestionados por PLCs dedicados y/o protecciones digitales que se integran en los paneles. El control y monitoreo de la distribución eléctrica desde la sala de control central se implementa a través de un enlace digital o enlaces cableados que conectan los PLCs al equipo DCS.

#### 10.7.2.3. Unidades de control de campo solar

El DCS interactúa típicamente con el sistema de control del campo solar para permitir la integración de su funcionalidad y recopilar datos. Debido al pequeño tamaño de las plantas, se integra todo en un único PLC.

#### 10.7.2.4. Generación de calor

Todo el estado de la instrumentación en los generadores de vapor se muestra en la interfaz hombre-máquina (HMI). Todas las válvulas deben contar con retroalimentación adecuada para permitir una identificación clara de la condición de operación.

#### 10.7.2.5. Balance de control de planta

El equipo de balance y control de planta (BOP) es supervisado y gestionado de manera integral a través del DCS.

Este enfoque permite coordinar y optimizar el funcionamiento de los diferentes equipos que forman parte del BOP, asegurando su integración con el resto de la planta.

#### 10.7.2.6. Extinción y detección de incendios

El sistema de protección contra incendios se gestiona a partir de un PLC dedicado. El DCS monitorea el sistema de protección contra incendios en busca de alarmas. Complementariamente, el panel de detección se ubica con carácter general en la sala de control centralizada.

#### 10.7.2.7. Calor, ventilación y aire acondicionado

El sistema HVAC generalmente se suministra como un paquete completo y se opera de forma remota. Las alarmas principales serán monitoreadas por el DCS.

### 10.7.3. Operaciones

Los responsables de la operación de la planta deben supervisar de manera remota el funcionamiento de esta, siendo los únicos autorizados para realizar ajustes en los controles y tomar decisiones que impacten en la operación. Estos profesionales colaboran estrechamente con el Ingeniero experto para monitorear el desempeño de la planta, garantizando el cumplimiento de los requisitos y evaluando posibles mejoras que puedan potenciar su eficiencia.

Utilizando los datos históricos almacenados en la base de datos a través del sistema de control distribuido (DCS), el personal de operaciones puede analizar las condiciones de trabajo, revisar las alarmas y ajustar los parámetros operativos según sea necesario.

Adicionalmente, un operador de campo se encarga típicamente de realizar inspecciones visuales semanales en la planta, verificando todos los aspectos del proceso a través de una ronda de inspección detallada en el lugar. Posteriormente, se envía un i al equipo de operaciones para evaluar la necesidad de programar o llevar a cabo mantenimiento correctivo de forma planificada o urgente en caso de ser necesario.

Este enfoque integrado y coordinado entre los responsables de operación, el ingeniero experto y el operador de campo garantiza un seguimiento preciso del rendimiento de la planta, permitiendo una gestión eficiente y proactiva para asegurar su óptimo funcionamiento y rendimiento.

En relación con la operación de una planta de energía solar térmica de concentración aplicada a un proceso industrial, los elementos clave son los siguientes:

- Estrategia de operación.
- Monitoreo de parámetros operativos.
- Control del proceso de operación y mantenimiento.
- Instrumentación de la planta.
- Niveles de protección y control.

A continuación, se detalla una descripción de cada uno:

#### 10.7.3.1. Estrategia de operación

La operación se planifica meticulosamente para optimizar la eficiencia de la planta y maximizar la producción de calor en combinación con el sistema de almacenamiento térmico (TES). Uno de los objetivos destacados del operador es mantener los parámetros operativos en línea con el modelo de producción, garantizando así el funcionamiento óptimo de la planta. Con este propósito, se puede desarrollar una estrategia operativa en colaboración con el contratista EPC que ha de implementarse en las fases subsiguientes del proyecto. Asimismo, se pueden establecer programas de monitoreo específicos para asegurar que los parámetros operativos se mantengan dentro de los parámetros deseados según lo previsto en el modelo de producción. En este sentido, en la estrategia de operación es fundamental considerar la variabilidad en la demanda industrial y la interrelación con el carácter también variable de la producción solar, que puede mitigarse a partir de la utilización de sistemas de almacenamiento.

#### 10.7.3.2. Monitoreo de parámetros operativos

Dentro de las prácticas de monitoreo, se pueden contemplar diversos programas para supervisar los parámetros operativos de la planta. A continuación, se desarrollan los más relevantes.

##### 10.7.3.2.1. Monitoreo Meteorológico

Consiste en la implementación de estaciones meteorológicas específicas en la planta para monitorear y evaluar el rendimiento, las cuales son calibradas anualmente por empresas especializadas para garantizar mediciones precisas. Estas estaciones miden parámetros cruciales como temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, así como diferentes niveles de radiación solar. Este monitoreo es relevante para garantizar un funcionamiento eficiente de la planta en consonancia con las condiciones climáticas.

##### 10.7.3.2.2. Monitoreo del fluido de transferencia de calor (HTF)

Se suelen disponer puntos de muestreo en el sistema de transferencia de calor para evaluar el estado del fluido transferente de calor (HTF) y prevenir posibles degradaciones. Aunque se haya mantenido la temperatura del HTF en niveles óptimos para minimizar la degradación, es conveniente realizar un monitoreo continuo para asegurar su estado y funcionalidad.

##### 10.7.3.2.3. Monitoreo de fluidos de planta

Este sistema se enfoca en monitorear la calidad del agua/vapor en el ciclo principal de la instalación para prevenir daños a los equipos ocasionados por la calidad inadecuada del agua. Para ello, se recogen muestras de varios puntos clave para su análisis, el cual incluye parámetros como pH, conductividad, contenido de sílice y oxígeno. Este monitoreo es esencial para proteger las instalaciones y prolongar la vida útil de los equipos.

#### 10.7.3.3. Control del proceso de operación y mantenimiento

La planta tiene que ser equipada de manera adecuada con sistemas de control para asegurar un correcto análisis de todos los datos operativos, facilitando la operación de la planta mediante la presentación de información al operador.

Estos sistemas no se limitan únicamente al registro de datos, sino que también incluyen funciones para evaluar e interpretar las condiciones operativas, así como organizar y presentar los resultados de manera efectiva.

Para tal fin, las plantas suelen disponer de un sistema de control e instrumentación que permite un control completo en distintos niveles, destacándose el control del campo solar como aspecto particularmente importante en este tipo de instalaciones.

Las diferentes actividades del sistema de control e instrumentación en el campo solar se dividen principalmente en tres niveles:

- **Control sobre el captador:** permite garantizar un seguimiento solar preciso, asegurando que el captador enfoque el sol con alta precisión. Esto se logra controlando la posición del captador en base al vector solar, señales de seguridad y órdenes del operador.
- **Control sobre el lazo:** regula el flujo de fluido termo portador (HTF) en la entrada del lazo y supervisa su estado, particularmente la temperatura de salida.
- **Control sobre el campo solar:** se centra en mantener la temperatura térmica de salida dentro del rango permitido.

El sistema a controlar es altamente no lineal, con retardos variables y un punto de trabajo en constante cambio. En consecuencia, el esquema de control debe incorporar un controlador avanzado (*feed-forward*) junto con un controlador para regular perturbaciones tanto lentas (como la insolación durante el día) como rápidas (como la presencia repentina de nubes) basándose en un balance energético en estado estacionario.

Es crucial considerar variables meteorológicas, posición del sol y estado del sistema para determinar el punto de operación óptimo. Las acciones para mantener control en los distintos niveles deben ser seguras y acordes con las características de la planta, evitando sobrecalentamientos, enfriamientos inadecuados del HTF o inoperatividad de la planta. Además, se deben cumplir con criterios de seguridad impuestos por otros subsistemas de la planta.

#### 10.7.3.4. Instrumentación de la planta

La instalación debe contar con toda la instrumentación y control necesarios para la operación segura de los sistemas incluidos en el alcance de suministro. Esto abarca ingeniería, equipos, accesorios, software y programación, licencias de software, pruebas y documentación.

La instrumentación a instalar incluye transmisores (para presión diferencial, relativa, temperatura, nivel), caudalímetros (magnéticos, vortex, másicos), interruptores (de nivel, caudal, presión, presión diferencial), indicadores (de presión, temperatura, nivel), termopares o RTD, válvulas de control (para caudal, nivel, temperatura, presión), válvulas todo/nada, válvulas solenoides y válvulas de seguridad.

Toda la instrumentación de campo debe ser instalada, calibrada y probada conforme a las normativas estándar aplicables, asegurando su correcta localización para facilitar su mantenimiento. La escala de medición de toda la instrumentación se basará en el sistema internacional o en escalas derivadas permitidas (como bar, °C), y debe incluir todo el cableado, bandejas, conductos y material necesario para la conexión eléctrica, cumpliendo con las especificaciones eléctricas correspondientes.

#### 10.7.3.5. Niveles de protección y control

Existen tres niveles de protección y control en este tipo de instalaciones, cada uno con requisitos específicos de redundancia, tal y como se describe a continuación.

##### 10.7.3.5.1. Sistemas críticos

Para controles y protecciones que podrían causar daños graves a la generación o a los equipos principales, se emplea el criterio de triple redundancia.

##### 10.7.3.5.2. Sistema que afecta la integridad de la planta

En este nivel, se requiere instrumentación redundante y doble selección para sistemas y equipos cuyo mal funcionamiento podría afectar la operación de la planta o dañar equipos.

##### 10.7.3.5.3. Sistemas no críticos

Se aplica un enfoque de instrumentación y señalización única para sistemas cuyo fallo pueda ser fácilmente subsanado antes de afectar la operación de la planta. En casos donde un componente falle, se permite que ocasione un fallo o interrupción en el control y la señalización normal.

#### 10.7.4. Mantenimiento

En relación con el sistema de mantenimiento de una planta de energía solar térmica de concentración aplicada a un proceso industrial, los elementos clave son los siguientes:

- Estrategia de mantenimiento.
- Plan de mantenimiento.
- Gestión de repuestos.
- Procedimiento de limpieza.
- Herramientas de soporte computarizadas para operación y mantenimiento.

Los elementos clave del mantenimiento de una planta de energía solar térmica de concentración están conformados por los siguientes elementos. A continuación, se detalla una descripción de cada uno:

##### 10.7.4.1. Estrategia de mantenimiento

El encargado de mantenimiento tiene la responsabilidad de supervisar todas las actividades de mantenimiento en la instalación, necesarias para mantener la planta operativa con alta disponibilidad y en óptimo estado de funcionamiento de forma remota, utilizando un sistema de gestión de mantenimiento informático (CMMS). Asimismo, se encarga de realizar reparaciones y revisiones cuando sea necesario para restaurar la instalación a su nivel óptimo.

El objetivo primordial del mantenimiento de la planta es maximizar la disponibilidad del equipo en condiciones operativas que permitan alcanzar los niveles de rendimiento, eficiencia y disponibilidad requeridos de manera rentable y cumpliendo con normas de seguridad, medioambientales y otros estándares. Para ello, es necesario mantener una comunicación estrecha con el responsable de

operaciones para garantizar que el mantenimiento pueda desempeñar sus labores de manera eficaz, minimizando cualquier impacto negativo en el rendimiento de la planta.

El responsable de mantenimiento estará a cargo de tres tipos distintos de actividades de mantenimiento:

- Preventivo.
- Correctivo.
- Predictivo.

#### 10.7.4.1.1. Mantenimiento preventivo

Las pautas de mantenimiento se fundamentan en métodos eficaces para todos los sistemas y equipos, detallando la frecuencia y requisitos de inspecciones periódicas, así como los recursos necesarios, incluyendo mano de obra y revisiones por parte de proveedores. El documento clave es el plan general de mantenimiento, el cual organiza y programa todas las actividades de mantenimiento de manera sistemática.

La planificación del mantenimiento se realiza de forma computarizada, teniendo en cuenta diversas limitaciones como la disponibilidad de personal, requisitos de envío, costes, suministro de herramientas y repuestos, niveles de radiación para la producción, entre otros factores relevantes. Este enfoque garantiza una gestión eficiente y coordinada de todas las labores de mantenimiento, optimizando la disponibilidad y el rendimiento de los sistemas y equipos de la planta.

Con carácter general, se prevé una parada anual de mantenimiento preventivo para la inspección de los equipos a presión para cumplir con las normas locales. Esta parada puede durar 2-3 días y se recomienda realizarla en días con poca radiación. En este sentido, es necesario considerar la afección que puede tener la parada a la operación del proceso industrial.

#### 10.7.4.1.2. Mantenimiento no planificado y correctivo

El mantenimiento preventivo, basado en la utilización, la condición de funcionamiento y la programación, contribuye a reducir la frecuencia de interrupciones no planificadas, aunque no puede eliminarlas por completo. Por otro lado, el mantenimiento no planificado incluye tanto el mantenimiento correctivo para abordar problemas menores en el equipo como reparaciones de emergencia necesarias debido a fallas críticas o deficiencias importantes en el equipo.

El personal de mantenimiento de la planta se encarga de realizar principalmente el mantenimiento preventivo, mientras que las reparaciones mayores y el mantenimiento no planificado pueden requerir la intervención de contratistas especializados en mantenimiento. Esta colaboración garantiza la disponibilidad y funcionalidad óptima de los equipos de la planta, minimizando tiempos de inactividad no deseados.

#### 10.7.4.1.3. Mantenimiento predictivo

El encargado de mantenimiento supervisa y realiza inspecciones en los equipos con fines predictivos de mantenimiento. Estos programas de monitoreo pueden contemplar actividades como el seguimiento de vibraciones, horas de funcionamiento, análisis químicos, entre otros. Para ello, se analizan las tendencias de los datos con el objetivo de anticipar posibles necesidades de mantenimiento de forma remota con analizadores localizados en el emplazamiento.

Complementariamente, los limpiadores de espejos proporcionan apoyo a los operadores del campo solar cuando resulta necesario, asegurando un óptimo rendimiento de los equipos y sistemas de la planta. Esta colaboración garantiza un mantenimiento proactivo y una operación eficiente de las instalaciones solares.

#### 10.7.4.2. Plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento de la planta se enfoca en mantener los más altos estándares de calidad, disponibilidad, limpieza y confiabilidad, brindando soporte óptimo para la producción de calor.

El mantenimiento planificado se llevará a cabo siguiendo las recomendaciones de los fabricantes de equipos, con componentes principales sujetos a inspecciones anuales y planificación detallada para minimizar los impactos en la producción. Otros elementos como bombas, motores e intercambiadores de calor son inspeccionados anualmente sin detener la producción, siguiendo las indicaciones del OEM y buenas prácticas de mantenimiento.

El operador se compromete a mantener los parámetros operativos clave para garantizar el desempeño de la planta. Para tal fin, se implementan actividades de monitoreo detalladas para asegurar que los parámetros no se vean afectados negativamente por las labores de mantenimiento, con actualizaciones continuas en base a los resultados de seguimiento.

#### 10.7.4.3. Gestión de repuestos

Una función fundamental del agente encargado de la operación y mantenimiento es mantener niveles adecuados de repuestos y componentes. La planificación se centra en mantener repuestos apropiados para minimizar interrupciones no planificadas y mejorar la disponibilidad de la planta. Para ello, se utilizan herramientas de gestión conectadas al sistema principal, incluyendo gestión de stock, contactos con proveedores y generación eficiente de pedidos.

Las cantidades de repuestos en stock seguirán criterios como evaluaciones de componentes críticos, recomendaciones del operador, disponibilidad de equipos de *back up* y experiencias previas. Para ello, se establecen procedimientos para compras, almacenamiento y órdenes de trabajo, y se realizan evaluaciones continuas para ajustar los niveles de stock según el uso.

El objetivo es minimizar los costes asociados con el inventario de repuestos y maximizar las ganancias operativas a largo plazo. El nivel inicial de inventario es típicamente provisto por el contratista EPC, basado en recomendaciones de fabricantes y experiencia operativa. Adicionalmente, se suelen establecer acuerdos con fabricantes para el suministro de piezas y soporte técnico a largo plazo.

#### 10.7.4.4. Procedimiento de limpieza

El procedimiento de limpieza tiene como objetivo obtener una reflectividad promedio, correspondiente a un factor de limpieza de 86 – 90 %. Las estimaciones preliminares suelen indicar que los espejos pueden perder un 0,4% de reflectividad al día debido al polvo y la suciedad.

Para determinar las desviaciones de la reflectividad de campo de diseño promedio, se debe monitorear la degradación de los parámetros de rendimiento.

Es habitual limpiar todo el campo solar de 2 a 10 ciclos al año. No obstante, esto está fuertemente relacionado con las condiciones ambientales del sitio.

#### 10.7.4.5. Herramientas de soporte computarizadas para operación y mantenimiento

El sistema de gestión de mantenimiento informático (CMMS) permite priorizar las solicitudes de mantenimiento con base en un análisis de coste/beneficio, realizar seguimiento de costes por equipo y sistema, y proveer la información necesaria para mantener las garantías de los equipos del fabricante original.

Este sistema interactúa con tiendas y software de compras, permitiendo al personal de mantenimiento acceso inmediato a la disponibilidad de repuestos, iniciar solicitudes de compra, y colaborar con el registro de eventos operativos para medir las pérdidas de producción asociadas al tiempo de inactividad de equipos específicos y evaluar la conveniencia de acciones correctivas.

Complementariamente, se suele implementar un software de última generación como apoyo clave para la gestión de tareas de mantenimiento, generando de forma automática órdenes de trabajo preventivas y predictivas. Este software incluye diversos módulos como control de almacén, planificación, gestión de permisos de trabajo, entre otros. Un componente esencial suele ser el uso de una base de datos única y unificada para almacenar información para los distintos módulos.

## 10.8. Base de datos de proveedores de tecnología en España

En los últimos años, diversos proveedores de tecnología SHIP han desarrollado su actividad en relación con la industria solar térmica de concentración. A continuación, se indican las principales entidades que proveen este tipo de instalaciones.

### 10.8.1. Proveedores de sistemas de captadores

#### 10.8.1.1. Aalborg CSP

Aalborg CSP es un especialista danés en energías renovables que diseña principalmente soluciones basadas en tecnología de energía solar concentrada y almacenamiento energético. La oficina principal de la empresa está ubicada en Aalborg, Dinamarca, y cuentan con oficinas en España, Estados Unidos, Kenia, Australia e Indonesia. Aalborg CSP ha participado en proyectos principalmente en España, pero también en Turquía y Noruega.

#### 10.8.1.2. Absolicon

Absolicon, una empresa sueca de energía solar que se especializa en sistemas de energía solar térmica de concentración, ayudando a las industrias a reemplazar los combustibles fósiles con energía solar térmica. Su colector solar industrial T160 genera calor y vapor a temperaturas de hasta 160°C, ofrece una eficiencia en los procesos productivos. Además, Absolicon ha desarrollado una línea de producción automatizada capaz de fabricar un colector T160 cada seis minutos, con certificación Solar Keymark que avala su rendimiento y calidad.

#### 10.8.1.3. Alto Solution

Alto Solution, con sede en Francia, utiliza tecnología de energía solar concentrada que se enfoca en concentrar la radiación solar para generar calor a temperaturas de hasta 400°C. Esta tecnología aprovecha la radiación solar directa para calentar fluidos como agua, aceite o aire, los cuales luego pueden utilizarse para diversos fines industriales, como la producción de vapor o la generación de frío. Se centran en promover la transición energética, especialmente en industrias donde la mayoría de las necesidades energéticas son en forma de calor, como la industria alimentaria, química, farmacéutica y textil.

#### 10.8.1.4. Ecotherm

Ecotherm, con sede en Austria, desarrolla tecnología solar térmica para la producción de agua caliente, vapor y refrigeración. En 2015 lanzó el primer sistema Fresnel instalado en un tejado en Austria, y a partir de entonces ofrece soluciones para la generación de vapor con energía solar. Esta tecnología puede integrarse fácilmente en instalaciones existentes, con una capacidad para alcanzar temperaturas de hasta 400°C.

#### 10.8.1.5. Fersisolar

Fersisolar es una empresa española de ingeniería y de consultoría, al servicio de instalaciones solares térmicas y fotovoltaicas, que necesiten diferentes servicios técnicos y soluciones para calor industrial con fuentes de energía renovables.

Desde Fersisolar proporcionan servicios de soporte sobre la operación y mantenimiento de centrales solares de concentración, colectando y analizando datos de rendimiento termodinámicos, ópticos y mecánicos en cualquier condición de operación de la misma. Adicionalmente, la compañía también ofrece servicios de ingeniería y consultoría técnica para desarrolladores, contratistas EPC y propietarios de instalaciones de generación de energía solar con tecnología CSP (cilindroparabólico, torre y linear Fresnel).

Por último, desde Fersisolar también ofrecen soluciones de *vapor como servicio*, mediante las cuales el cliente externaliza los activos de producción de energía térmica sostenible a través de una empresa por medio de un contrato HPA (*Heat Purchase Agreement*).

#### 10.8.1.6. Frenell

Frenell es una empresa con más de 15 años de experiencia en la industria especializada en tecnología de energía solar concentrada, ubicada en Alemania. Utiliza tecnología de captadores solares concentrados, específicamente la tecnología Fresnel. Sus servicios incluyen el desarrollo, diseño y construcción de proyectos CSP, así como la fabricación de componentes clave en sus instalaciones industriales. La tecnología de Frenell permite alcanzar temperaturas de hasta 550°C en el campo de captadores y ofrece almacenamiento térmico de hasta 20 horas a plena carga.

#### 10.8.1.7. Heliac

Heliac es una empresa con sede en Dinamarca especializada en soluciones térmicas de alta eficiencia para industrias. Fundada en 2014, la empresa desarrolla y distribuye soluciones térmicas

patentadas que permiten una producción de calor libre de emisiones de CO<sub>2</sub>. Particularmente, este proveedor ha desarrollado una solución de almacenamiento térmico, *RockStore*, la cual permite el almacenamiento térmico con temperaturas de hasta 300°C.

#### 10.8.1.8. Kalido

Kalido (anteriormente TCT, Thermal Cooling Technology), una empresa española con sede en Madrid con más de 30 años de experiencia en el campo de la energía solar y particularmente, en el diseño, desarrollo e instalaciones integrales de energía térmica (incluyendo soluciones para las necesidades de calor de procesos industriales).

La tecnología utilizada por este proveedor se denomina *Kalido Sunspin* y consiste en una parábola solar inteligente que concentra la luz del sol y la transforma en energía térmica. Como resultado, la energía solar sirve de base a sistemas de calor de proceso, incluyendo procesos de media temperatura (entre 100°C y 250°C). Conforme a lo indicado por el proveedor, entre las aplicaciones objetivo de su solución se encuentran los procesos de calor industrial (textiles, alimentos, petroquímicos, limpieza y esterilización).

Dispone de pruebas ISO 9806.

#### 10.8.1.9. Protarget

Protarget es una empresa con sede en Alemania especializada en sistemas CSP con almacenamiento de energía térmica. Este proveedor utiliza tecnología de energía CSP para la generación de calor. Además de sus soluciones de almacenamiento térmico, Protarget ofrece sistemas llave en mano de colectores parabólicos y CPC, junto con calderas de vapor solares capaces de generar energía independiente del proceso, alcanzando temperaturas de hasta 430°C para diversas aplicaciones industriales.

La empresa también brinda servicios de consultoría y diseño para la implementación de sistemas de almacenamiento térmico en diversas industrias y aplicaciones.

#### 10.8.1.10. Rioglass

Rioglass es una compañía española que proporciona componentes ópticos de última generación son utilizados por tanto en tecnología CSP, como CPV (fotovoltaica concentrada). De esta forma, los productos ofertados por Rioglass tienen como objetivo el suministro de calor de origen renovable para procesos industriales con temperaturas de hasta 220°C.

Dispone de pruebas ISO 9806.

Complementariamente, desde Rioglass también ofrecen servicios especializados de operación y mantenimiento de plantas de energía solar térmica de concentración.

#### 10.8.1.11. SBP Sonne

SBP Sonne, miembro de SBP se, es una empresa especializada en tecnologías de energía CSP. Con más de 35 años de experiencia, SBP Sonne está especializada en el desarrollo de concentradores cilindroparábolicos, como los *EuroTrough*, *HelioTrough* y *UltimateTrough*.

SBP Sonne trabaja en el diseño, desarrollo e implementación de tecnologías solares a nivel internacional, y ha desarrollado proyectos de captadores solares parabólicos de 50 MWe a 100 MWe en países como España, Egipto, India, Kuwait, Arabia Saudita y China.

#### 10.8.1.12. Solarlite

Solarlite CSP Technology GmbH una empresa subsidiaria de Azteq (empresa belga que se especializa en soluciones de energía térmica solar a gran escala para la industria), ubicada en Alemania, está especializada en plantas de energía solar térmica de cilindroparábolicos. Solarlite ofrece diferentes servicios, desde consultoría técnica hasta la instalación de soluciones personalizadas. Su tecnología está basada en la generación directa de vapor, con plantas que van desde 2 MW hasta más de 100 MW.

Solarlite está especializada en la construcción de plantas de energía solar térmica de cilindro parabólico basadas en generación directa de vapor y desarrolla captadores cilindroparábolicos diseñados para temperaturas de operación de hasta 500 °C.

#### 10.8.1.13. Solatom

Solatom es una empresa española, con sede en Valencia, que desarrolla calderas solares para la generación de calor en forma de vapor, agua caliente presurizada y aceite térmico para aplicaciones industriales. La tecnología de calderas solares desarrollada por Solatom utiliza como fluidos agua, aceite térmico, vapor y aire, con presiones de hasta 30 bar, y con posibilidad de instalación tanto en terreno como en cubierta.

Las soluciones desarrolladas pueden instalarse tanto si el receptor dispone de caldera convencional como si no es así. En el primer caso, cuando existe radiación solar es la caldera solar la encargada de producir el calor que necesita la fábrica o almacenarlo para su utilización en el futuro. Cuando no existe radiación solar, y el almacenamiento está vacío, es la caldera convencional quien toma el relevo en la producción. En el segundo caso, por su parte, el diseño se realiza teniendo en cuenta que la producción debe ajustarse al perfil solar de la ubicación. Adicionalmente, si el proceso no dispone de esta flexibilidad, o se precisa de la utilización de un fluido difícil de almacenar (como el vapor, por ejemplo), desde Solatom también participan en proyectos con caldera híbrida.

#### 10.8.1.14. Soliterm

Soliterm Group, fundada en 1999 en Aachen, Alemania, se especializa en sistemas de captadores cilindroparábolicos para energía solar, con certificación ISO 9001:2015, CE y TÜV Solar Keymark. Estos sistemas calientan agua hasta 180°C para aplicaciones industriales como refrigeración, calefacción y generación de vapor. Soliterm dispone de una planta de producción automatizada capaz de fabricar hasta 40.000 captadores al año, con una capacidad térmica total de 250 MW.

Dispone de pruebas ISO 9806.

#### 10.8.1.15. Suncom Energy

Suncom Energy es una empresa fundada a finales de 2019 en Países Bajos, con el objetivo de proporcionar calor y electricidad a partir de fuentes libres de carbono. Este proveedor ha desarrollado una solución compacta de CSP, la cual permite capturar y almacenar eficientemente la energía solar a altas temperaturas, alcanzando hasta 425 °C. Además de proporcionar soluciones de energía, Suncom también ofrece servicios integrales llave en mano, que incluyen ingeniería, suministro, instalación, puesta en marcha, mantenimiento y soporte continuo.

#### 10.8.1.16. Tewel

Tewel es una compañía española que durante los últimos 15 años ha participado en la construcción de las mayores plantas de concentración solar del mundo para generación eléctrica. Dicha participación ha consistido mayormente en servicios de ingeniería y diseño, suministro de captadores desarrollados por sus equipos propios de ingeniería (heliostatos y colectores), sistemas de montaje de campo solar, y sistemas de control y calibración de planta. Esta experiencia en los proyectos de mayor envergadura del mundo ha posicionado a Tewel como una de las empresas con mayor experiencia en campo solar a día de hoy.

En la actualidad está desarrollando una fuerte actividad en el ámbito de la concentración solar aplicada a calor industrial, realizando la misma desde los siguientes ámbitos: ingeniería y diseño de planta completa, desarrollo de tecnología e I+D para aplicaciones industriales específicas, suministro de colectores cilindroparabólicos de tecnología propia para aplicaciones de hasta 420 °C, suministro de tecnología propia de heliostatos y receptor central de torre para aplicaciones de media y alta temperatura (> 400 °C), diseño de soluciones integradas de planta con almacenamiento, y suministro integral de proyectos llave en mano.

#### 10.8.1.17. TSK Flagsol

TSK Flagsol es una empresa que desarrolla tecnología de energía CSP, destacando en el diseño y fabricación de captadores cilindroparabólicos a partir de su producto principal *HelioTrough*. Adicionalmente a servicios especializados en CSP, tales como el desarrollo y diseño de captadores, también ofrecen asesoramiento técnico, ingeniería y construcción de plantas solares, investigación y desarrollo, así como soporte técnico y capacitación.

### 10.8.2. Proveedores de sistemas de almacenamiento

#### 10.8.2.1. Build to Zero

Build to Zero es una empresa especializada en el desarrollo de soluciones avanzadas para el almacenamiento de energía térmica. La compañía gestiona todo el proceso de investigación y desarrollo industrial, abarcando desde soluciones de almacenamiento de energía térmica sensible y latente, hasta la creación de bombas de calor de alta temperatura, calentadores de alta eficiencia y materiales para aplicaciones industriales. Su tecnología patentada, ThermalBox®, está diseñada para sustituir calderas de combustibles fósiles, ofreciendo una solución de calor continuo con un buen rendimiento.

#### 10.8.2.2. ENERGYNEST

ENERGYNEST es una compañía noruega con sede en España (Sevilla) y otras ciudades europeas, especializada en soluciones de almacenamiento energético. En particular, ha desarrollado la tecnología “ThermalBattery™”, con objeto de proveer una solución modular y escalable para el almacenamiento de energía térmica de alta temperatura en estado sólido. Esta tecnología se integra con la aplicación específica del proceso industrial, conectándose a sistemas independientes que utilizan aceite térmico o vapor como fluido de transferencia de calor para cargar y descargar energía térmica en función de la demanda del proceso. El almacenamiento térmico se produce en hormigón de alto rendimiento (“HEATCRETE®”), a temperaturas de hasta 400°C, el cual se caracteriza por la mayor conductividad y capacidad de almacenamiento térmico en comparación con hormigón de construcción. La empresa ofrece soluciones llave en mano y financiación, adaptándose a las necesidades del cliente y de sus procesos industriales.

#### 10.8.2.3. Eurotecnica

Eurotecnica, con sede en Italia, es una empresa especializada en sistemas de almacenamiento térmico para plantas de energía solar concentrada. Aprovechando su experiencia en la implementación de sistemas de sales fundidas y aceites térmicos para la industria química y petroquímica, ha desarrollado soluciones innovadoras que mejoran la capacidad de almacenamiento y la eficiencia operativa de estas plantas.

#### 10.8.2.4. Kraftblock

Kraftblock, con sede en Alemania, es una empresa especializada en sistemas de almacenamiento de energía térmica y eléctrica, diseñada para diversas aplicaciones industriales. Su sistema de almacenamiento puede alcanzar hasta 1.300°C, lo que permite almacenar calor durante dos semanas y utilizar diferentes fuentes de energía para su carga.

#### 10.8.2.5. Stork Thermeq

Stork Thermeq, con sede en los Países Bajos, se especializa en soluciones de almacenamiento de vapor que optimizan el uso de energía y reducen las emisiones de CO<sub>2</sub>. Sus acumuladores están diseñados para adaptarse a las condiciones específicas de cada proceso, y la empresa proporciona soporte continuo para mantenimiento y optimización.

### 10.8.3. Centros I+D

#### 10.8.3.1. CENER

CENER, el Centro Nacional de Energías Renovables de España, es un centro tecnológico de reconocido prestigio mundial que desarrolla investigación aplicada en energías renovables y proporciona apoyo tecnológico a empresas e instituciones energéticas. Los clientes de CENER incluyen empresas de energía renovable y servicios relacionados, fabricantes de componentes, organismos de certificación y laboratorios de ensayo, entre otros.

En concreto, el departamento de Tecnologías y Almacenamiento de Energía Solar, centrado en los retos tecnológicos a lo largo de toda la cadena de valor, con una trayectoria de más de 20 años,

tiene como principal objetivo apoyar al sector industrial en sus desarrollos y ayudar a reducir los costes de la energía, mejorando y aumentando así el despliegue de tecnología solar y almacenamiento térmico.

#### 10.8.3.2. CIEMAT

El CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) es un Organismo Público de Investigación dependiente del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, centrado en la investigación y desarrollo de soluciones tecnológicas en los campos de la energía y el medio ambiente. Su labor abarca proyectos clave en energías renovables, incluyendo la energía solar de concentración, colaborando con universidades, empresas y centros de investigación tanto nacionales como internacionales.

Entre sus instalaciones destacadas se encuentran la Plataforma Solar de Almería (PSA) y el Centro de Desarrollo de Energías Renovables (CEDER), que permiten al CIEMAT liderar proyectos de I+D+i enfocados en la transición energética y el desarrollo de tecnologías innovadoras para un futuro más sostenible.



# 11. Bibliografía

- AEI SHC Task 52. (2018). *Solar District Heating Trends and Possibilities*. AEI.
- AEI SHC Task 68. (2024). *Efficient Solar District Heating Systems*.
- AIE SHC Task 49. (2015). *Integration schemes and BOPs more commonly used in commercial SHIP applications*.
- AIE, A. I. (2016). *El calor solar industrial, Solar Payback*.
- AIE, A. I. (2024). *Renewables 2023 - Analysis and forecast to 2028*. [www.iea.org](http://www.iea.org).
- AIE, A. I. (Enero 2024). *Technology Position Paper, Solar Heat for Industrial Processes (SHIP)*.
- AIE-ETSAP, & IRENA. (2015). *Solar Heat for Industrial Processes*. IRENA.
- Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío. (2023). *Censo de Redes de Calor y Frío 2023*. España: Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico, IDAE.
- Baerbel Epp. (28 de Marzo de 2024). The Netherlands and Spain drive SHIP market 2023. *Solar Thermal World*, págs. <https://solarthermalworld.org/news/the-netherlands-and-spain-drive-ship-market-2023/>.
- Baonza, F., Marcos, M., Romero, M., & Izquierdo, M. (noviembre 2000). Integración de pequeñas Plantas Solares de Torre en Sistemas de Cogeneración Aislados. *Colección Documentos CIEMAT*, CIEMAT, Madrid; ISBN: 84-7834-380-6.
- Blanco, M., Alarcón, D., & López, T. (2001). Computing the Solar Vector. *Solar Energy, Vol. 70, No. 5*, pp. 431 –441.
- Blanco, M., Mutuberria, A., & Benito Cia, P. (2014). A Monte Carlo ray tracer for the optical simulation of solar concentrating systems.
- Blázquez Carnerero, R. M. (Diciembre de 2011). *Estudio de la distribución de flujo y factor de desbordamiento de un sistema de disco parabólico*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Cardemil, J. M. (2019). *Modelo de receptor volumétrico de aire con materias primas locales*. Chile: Comunicaciones DIMEC - Universidad de Chile.
- Ciucci, M. (Marzo de 2024). *La energía renovable*. Obtenido de Parlamento Europeo: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/70/la-energia-renovable#:~:text=En%20el%20sector%20de%20la,porcentuales%20entre%202026%20y%202030>.

- Consejo Europeo de la Unión Europea. (21 de Marzo de 2024). *Pacto Verde Europeo*. Obtenido de Consejo Europeo de la Unión Europea: <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/green-deal/>
- Consejo Europeo de la Unión Europea. (27 de Enero de 2024). *Objetivo 55: cómo tiene previsto potenciar la UE la energía renovable*. Obtenido de Consejo Europeo de la Unión Europea: <https://www.consilium.europa.eu/es/infographics/fit-for-55-how-the-eu-plans-to-boost-renewable-energy/>
- CORDIS. (19 de Agosto de 2020). *CORDIS*. Obtenido de Calor solar para los sectores energético e industrial: innovaciones en energía solar concentrada: <https://cordis.europa.eu/article/id/421854-solar-heat-for-power-and-industry/es>
- Díaz U., J., Espinosa N., C., Conzalez C., J., & Paredes S., A. (2015). *Análisis de potencial y oportunidades de integración de energía solar térmica en redes de climatización*. Madrid: IDAE.
- Dolman, M., Madden, B., Summers, C., Klevnas, P., & Radov, D. (2011). *Achieving deployment of renewable heat. Final report for the Committee on Climate Change*. Cambridge: Element Energy Limited.
- Elmqvist, H., & Mattsson, S. (1997, Singapore.). *Modelica - The next generation modeling language - An international design effort*, in Proceedings of the 1st world ongress on system simulation.
- ESTIF, E. S. (2021). *Solar Payback*.
- Eurostat. (05 de Abril de 2024). *Share of energy from renewable sources* .
- Falcone, P. (1986). *A handbook for Solar Central Receiver Design*. Livermore (USA): SAND86-8009, Sandia National Laboratories.
- García, S. (01 de Diciembre de 2020). *Principales diferencias entre la tecnología CCP y la tecnología Fresnel*. Obtenido de Renovetec Ingeniería: <https://renovetec-ingenieria.com/index.php/component/content/article/27-blog/blog-energia/70-principales-diferencias-entre-la-tecnologia-ccp-y-la-tecnologia-fresnel?Itemid=101>
- Gil, A., Medrano, M., Martorell, I., Lázaro, A., Dolado, P., Zalba, B., & Cabeza, L. F. (2010). *State of the art on high temperature thermal energy storage for power generation*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- González Parrilla, L. (2019). *Modelado y simulación de una planta solar Fresnel de refrigeración*. TSI Universidad de Sevilla.
- Hermenegildo Rodríguez, G. (Viernes, 3 de Mayo de 2024). *Planta Termosolar con Tecnología de Torre*. Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialesemanal/tutorialn134.html>

- IDAE. (2012). *Guía técnica Selección de equipos de transporte de fluidos. Bombas y ventiladores.*
- IDAE. (2024). *Estado de las convocatorias por Comunidad Autónoma.* Obtenido de IDAE: <https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/para-la-implantacion-de-instalaciones-de-energias-renovables-termicas-en/convocatorias-de-las-comunidades-autonomas>
- IE SHC Task 64. (2021). *Integration schemes and BOPs more commonly used in commercial SHIP applications.* DOI: 10.18777: IEA SHC Task 64.
- Kalido. (2024). *Heat that matters.*
- Martínez, J. (29 de Octubre de 2009). Almacenamiento térmico en plantas termosolares. Madrid, Madrid, España.
- McMillan, C., Schoeneberger, C., Zhang, J., Kurup, P., Masanet, E., Margolis, R., . . . Xi, W. (2021). *Opportunities for Solar Industrial process Heat in the United States.* NREL.
- Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. (s.f.). Obtenido de Sistema de Certificados de Ahorro Energético (CAE): <https://www.miteco.gob.es/es/energia/eficiencia/cae.html>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). *La Energía en España 2018.* Madrid: Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico. (2023). *Borrador de actualización del PNIEC 2023-2030.*
- Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. (2024). *Estadística anual de consumo energético en la industria 2022.* España: Secretaría de Estado de Energía.
- Niras. (23 de Febrero de 2022). La innovadora central combinada de calor y electricidad de Brønderslev combina nuevas tecnologías. *Niras*, págs. <https://www.niras.dk/projekter/kraftvarmevaerk-i-broenderslev/>.
- Ortega, I., & Gutiérrez, M. (29 de Septiembre de 2020). ALMACENAMIENTO TÉRMICO: EL CAMINO HACIA LA OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN ENERGÉTICA.
- PERTE. (31 de Agosto de 2024). *Seguimiento del Plan.* Obtenido de Plan de recuperación: <https://planderecuperacion.gob.es/>
- Poullikkas, A. (2013). A comparative overview of wet and dry cooling systems for Rankine cycle based CSP plants. *Trends in Heat & Mass Transfer, vol. 13*, 27-50.
- REN21. (2023). *Renewable 2023 Global Status Report, Global Overview.* Paris: REN21 Secretariat; ISBN 978-3-948393-11-3.

- REN21. (2024). *Renewables 2024 Global Status, Report Collection, Energy Demand*. Paris: REN21 Secretariat. ISBN 978-3-948393-14-47.
- RESSSPI. (2022). *Base de datos de proyectos de concentración SHIP en España*. Obtenido de Ressspi.com: <https://www.ressspi.com/biz/listaProyectos>
- RESSSPI. (2022). *Energía solar para procesos industriales*. Obtenido de RESSSPI.
- Rodríguez, R., Díaz, R., Baranda, M., Ángel, J., & Mayo, C. (2024 ). Technical and economic study of solar energy concentration technologies (linear Fresnel and parabolic trough collectors) to generate process heat at medium temperature for the dairy industry of Spain. *Solar Energy, Volume 271*,.
- Romero Alvarez, M. (2023). *Sistemas de Receptor Centra*. España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Romero-Alvarez, M., & al., e. (2007). Concentrating solar Thermal Power - Handbook of Energy Efficiency and Renewable Energy. Boca Raton, USA, CRC Press Taylor and Francis Group.
- Ruiz C., F. J. (2020). Corrosion evaluation of molten salts thermal energy storage (TES) systems in concentrated solar power plants (CSP). *Universitat de Lleida*.
- SHC, & Institute European Copper. (2019). *Solar Heat for Cities the sustainable solution for district heating*. Task 55 Integrating Large SHC Systems into District Heating and Cooling Networks.
- Solar Concentra, Solatom. (2017). *Estudio geolocalizado del potencial de aplicaciones de calor solar de proceso en media temperatura*.
- Solar Payback. (April de 2017). *Solar Heat for Industry*. Solar Payback.
- Stine, W. B., & Diver, R. B. (1994). *A Compendium of Solar Dish/Stirling Technology*. Albuquerque: Sandia National Laboratories Technical Library, SAND93-7026 UC-236.
- Zarza, E. (2023). *Generación de vapor y electricidad con captadores cilindroparabólicos*.





IDAE, Calle Madera, 8, 28004 Madrid. Telf.: 91 456 4900  
Fax : 91 523 04 14, mail: comunicacion@idae.es, www.idae.es



MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO