

Trabajo Fin de Máster
Máster Universitario en Sistemas de Energía
Térmicas.

Caracterización de las instalaciones de energía solar
térmica en el sector industrial.

Autor: Hermenegildo Martín Velázquez

Tutor: José Julio Guerra Macho

Dpto. de Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023



Trabajo Fin de Máster
Máster en Sistemas de Energía Térmica.

Caracterización de las instalaciones de energía solar térmica en el sector industrial.

Autor:

Hermenegildo Martín Velázquez

Tutor:

José Julio Guera Macho

Catedrático universitario

Dpto. de Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023

Trabajo Fin de Máster: Caracterización de las instalaciones de energía solar térmica en el sector industrial.

Autor: Hermenegildo Martín Velázquez

Tutor: José Julio Guerra Macho

El tribunal nombrado para juzgar el Trabajo arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2023

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

A mi familia, en especial a mis padres y a mis hermanos, por haberme apoyado desde el primer momento que entré en la carrera de Ingeniería de la energía y confiaban en que con constancia y tiempo todo sale. Gracias por todo el cariño.

A mis amigos que he conocido a lo largo de estos años por haberme acompañado y haber hecho que el camino fuera más llevadero.

A mis profesores de la escuela y en especial a Pepe Guerra, por haberme transmitido tanto a lo largo de sus diversas asignaturas, por su dedicación, su interés y su ayuda en este último empujón, que no ha sido para nada fácil.

Sevilla, 2023

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis de las plantas solares existentes, asociadas a algún proceso industrial, a lo largo y ancho de nuestro mundo. Este trabajo tratará, como se podrá observar durante el trabajo, en ver qué tipo de tecnologías, que tipo de procesos llevan asociados y donde y cuando se han instalado estos tipos de plantas.

Este trabajo nace del interés, después de haber realizado un grado de ingeniería de la energía y un máster en sistemas de energía térmica, para realizar un análisis extenso de lo que puede aportar la energía solar (energía de carácter renovable) a un proceso industrial para remarcar el beneficio y el avance que podría aportar a este sector.

Como se podrá observar, los procesos industriales que emplean este tipo de tecnologías son muy versátiles, ya que abarcan todo tipo de procesos y rangos de temperaturas. Dentro de los mismos, habrá también gran cantidad de alternativas para integrar este tipo de tecnologías, desde la elección del tipo de captador, el tipo de almacenamiento, configuración, etc. Esto dejando de lado ciertas características como pudieran ser la elección de fluido caloportador, el tipo de válvulas, de intercambiador, etc. Tras realizar un análisis de la tecnología, según los tres parámetros que se han podido ver a lo largo del apartado tres: número de instalaciones, superficie instalada y potencia térmica instalada.

Como resumen del análisis se desprenden los siguientes puntos:

- La tecnología más implantada en cuanto a número de instalaciones es la de captador solar plano, seguida de la de tubos de vacío.
- La tecnología con mayor superficie instalada es la cilindroparabólica (con más de un 50% del total), seguida de la de captadores solares planos.
- Al igual que sucede con la superficie instalada, la tecnología con mayor potencia instalada es la tecnología de captadores cilindroparabólicos.
- Gran impacto de la instalación de Miraah en esta tecnología.
- Tendencia ascendente en todos los ámbitos.
- Este tipo de tecnología es una tecnología muy versátil que se puede aplicar a todo tipo de industria o aplicación industrial.
- El coste de inversión de una planta de tecnología termosolar ha ido disminuyendo proporcionalmente según la maduración de la propia tecnología.

The objective of this work is to carry out an analysis of existing solar plants, associated with some industrial process, throughout our world. This work will try, as can be seen during the work, to see what type of technologies, what type of processes are associated with them and where and when these types of plants have been installed.

This work arises from the interest, after having completed a degree in energy engineering and a master's degree in thermal energy systems, to carry out an extensive analysis of what solar energy (renewable energy) can contribute to an industrial process for highlight the benefit and progress that it could bring to this sector.

As can be seen, industrial processes that use this type of technology are very versatile, since they cover all types of processes and temperature ranges. Within them, there will also be a large number of alternatives to integrate this type of technologies, from the choice of the type of collector, the type of storage, configuration, etc. This leaves aside certain characteristics such as the choice of heat transfer fluid, the type of valves, exchanger, etc.

After carrying out an analysis of the technology, according to the three parameters that have been seen throughout section three: number of installations, installed surface and installed thermal power.

As a summary of the analysis, the following points emerge:

- The most implemented technology in terms of number of installations is the flat solar collector, followed by vacuum tubes.
- The technology with the largest installed surface area is the parabolic trough (with more than 50% of the total), followed by flat solar collectors.
- As with the installed surface, the technology with the greatest installed power is parabolic trough collector technology.
- Great impact of the Miraah installation on this technology.
- Upward trend in all areas.
- This type of technology is a very versatile technology that can be applied to all types of industry or industrial application.
- The investment cost of a solar thermal technology plant has been decreasing proportionally according to the maturation of the technology itself.

INDICE

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
INDICE	xiv
Índice de Tablas	xvi
Índice de Figuras	xviii
Notación	xxi
1. Introducción	23
1.1 <i>Introducción.</i>	23
1.2 <i>Panorama actual de las energías renovables.</i>	25
1.3 <i>Recurso solar.</i>	27
1.4 <i>Introducción a la energía Solar Térmica y calentamiento de procesos industriales.</i>	29
1.5 <i>Principales procesos industriales y aplicaciones.</i>	31
1.5.1 <i>Operaciones de calentamiento.</i>	36
1.5.2 <i>Procesos unitarios.</i>	37
1.6 <i>Análisis bibliométrico de la documentación utilizada.</i>	37
1.7 <i>Análisis bibliométrico de la documentación utilizada.</i>	38
1.7.1 <i>Solar process heat in industrial systems. A global review (2018)</i>	40
1.7.2 <i>Mainstreaming commercial CSP systems (2019): A technology review</i>	41
1.7.3 <i>Global advancement of solar thermal energy technologies for industrial process heat and its future prospects (219): A review</i>	41
1.7.4 <i>Latest developments on TES and CSP technologies (2020): Energy and environmental issues, application, and research trends.</i>	42
1.7.5 <i>Solar for industrial process heat: a review of technologies, analysis approaches, and potential applications in the United States (2021).</i>	42
1.7.6 <i>A Solar for industrial process heat: a review of technologies, analysis approaches, and potential applications in the United States (2021).</i>	43
1.7.7 <i>A Solar for industrial process heat: a review of technologies, analysis approaches, and potential applications in the United States (2021).</i>	43
1.7.8 <i>Thermal energy storage systems for concentrating solar power plants (2021)</i>	43
1.7.9 <i>Guía de Energía solar Térmica para Procesos Industriales Thermal (Octubre de 2022)</i>	44
2 SISTEMAS DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICO EN LA INDUSTRIA	45
2.1 <i>Introducción a los sistemas de energía solar térmicos.</i>	45
2.2 <i>Tecnologías usadas.</i>	45
2.2.1 <i>Sistema de captación.</i>	46
2.2.2 <i>Sistema de distribución.</i>	53
2.2.3 <i>Sistema de almacenamiento.</i>	54
2.2.4 <i>Sistema de transferencia.</i>	57
2.3 <i>Acoplamiento en los sistemas de generación de vapor e integración de la energía solar en la industria.</i>	60

3	ANÁLISIS DE LAS INSTALACIONES DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA	66
3.1	<i>Introducción al análisis de las instalaciones.</i>	66
3.2	<i>Evolución de las instalaciones termosolares.</i>	68
3.2.1	Proyecto Miraah (Omán).	77
3.2.2	Proyecto “Sundrop Farm” (Australia).	80
3.2.3	Codelco Gabriela Mistral (Chile).	81
3.2.4	Planta solar grupo Cosentino (Almería, España).	82
4	resumen y conclusiones	83
4.1	<i>Resumen.</i>	83
4.2	<i>Conclusiones.</i>	84
	Referencias	11

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Superficie instalada según año y tecnología.	70
Tabla 2: Número de instalaciones según año y tecnología.	73
Tabla 3: Potencia térmica instalada según año y tipo de tecnología.	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Uso de la energía en el área industrial en diferentes países del mundo.	23
Figura 2: Estadísticas del uso de la energía térmica industrial por rangos de temperatura.	24
Figura 3: Crecimiento esperado de las energías renovables	26
Figura 4: Potencia acumulada por tecnología desde 2010-2027	27
Figura 5: Representación de los diversos tipos de radiación y procesos que hay en la atmósfera.	27
Figura 6: Irradiación solar a nivel peninsular.	28
Figura 7: Relación entre la radiación global disponible sobre la apertura de un captador estacionario con una determinada inclinación sobre la horizontal, una determinada orientación y la radiación máxima posible.	29
Figura 8: Instalación de energía térmica.	30
Figura 9: Distribución de calor a distintas temperaturas desde la sala de calderas.	31
Figura 10: Ejemplo de aplicación a varios procesos.	31
Figura 11: Procesos industriales a los que se le podrían aplicar un sistema de Energía solar Térmica	34
Figura 12: Calor utilizado en el proceso de calentamiento en EE. UU. dependiendo de la industria.	35
Figura 13: Energía utilizada para los distintos procesos industriales.	37
Figura 14: Rangos de temperatura según el tipo de industria y el proceso asociado.	38
Figura 15: Evolución de las publicaciones desde 2010	39
Figura 16: Áreas de estudio de los documentos	39
Figura 17: Títulos más comunes de las publicaciones.	39
Figura 18: Sistema de captación en paralelo.	48
Figura 19: Sistema de captación en serie.	49
Figura 20: Sistema de captación en serie-paralelo.	49
Figura 21: Retorno directo a la derecha y de un retorno invertido a la izquierda.	50
Figura 22: Captador de aire de placa plana	51
Figura 23: Captadores con tubos de tipo heat pipe y flujo directo.	52
Figura 24: Captador de tubos de vacío.	52
Figura 25: Sistema de captación tipo Fresnel.	53
Figura 26: Cilindro parabólico.	53
Figura 27: Estructura del captador de placa plana evacuado.	54
Figura 28: Sistema de distribución de vapor.	55
Figura 30: Proceso industrial con TES acoplado.	56
Figura 31: Tipos de almacenamientos de calor según el proceso interno	56
Figura 32: Evolución de la energía almacenado para sistemas de calor sensible.	57
Figura 33: Evolución de la energía almacenado para sistemas de calor latente.	58

Figura 34: De izquierda a derecha, un intercambiador de carcasa y tubo, un intercambiador compacto de espiral y un intercambiador de flujo cruzado.	59
Figura 35: De izquierda a derecha se representan sistemas: con camisa calefactora, haz tubular interno sin carcasa y suministro de agua caliente con serpentín de calefacción interno que se calienta indirectamente mediante vapor mediante un circuito de agua caliente intermedio.	60
Figura 36: Sistemas directos de combustión directa y de inyección de vapor.	60
Figura 37: Evaporador y secadero industrial.	61
Figura 38: Proceso industrial de producción de vapor.	61
Figura 39: Acoplamiento solar en un proceso industrial.	62
Figura 40: Acoplamiento en serie para el calentamiento del retorno del proceso. Tipo 1.	62
Figura 41: Acoplamiento en serie para el calentamiento del retorno del proceso. Tipo 2.	63
Figura 42: Acoplamiento en paralelo para la producción directa de vapor (T^a de proceso $< 100^{\circ}\text{C}$).	63
Figura 43: Acoplamiento en paralelo para la producción indirecta de vapor (T^a de proceso $> 100^{\circ}\text{C}$).	64
Figura 44: Integración de energía solar en la industria.	65
Figura 45: Sistema de calentamiento en el sistema de generación de vapor directo e indirecto.	65
Figura 46: Ejemplos de integración de energía térmica.	66
Figura 47: Distribución de las plantas instaladas.	67
Figura 48: Ejemplo de contenido.	68
Figura 49: Tablas de contenido.	68
Figura 50: Registros de las distintas plantas de la web con sus datos.	69
Figura 51: Área instalada por metro cuadrado desde al año 2000 de Instalaciones térmicas.	70
Figura 52: Metros cuadrados proyectados según tipo de instalación CON Miraah.	71
Figura 53: Metros cuadrados proyectados según tipo de instalación SIN Miraah.	72
Figura 54: Tendencia de instalaciones proyectadas por metro cuadrado CON Miraah.	72
Figura 55: Tendencia de instalaciones proyectadas por metro cuadrado SIN Miraah.	73
Figura 56: Plantas instaladas a lo largo de los años.	74
Figura 57: Tendencia de instalaciones proyectadas por número de proyectos.	75
Figura 58: Potencia térmica proyectada según tipo de instalación y año CON Miraah.	76
Figura 59: Potencia térmica proyectada según tipo de instalación y año SIN Miraah.	76
Figura 60: Tendencia de la potencia instalada por año.	77
Figura 61: Inversión en millones de euros desde al año 2000 en Instalaciones Térmicas.	77
Figura 62: Evolución del coste de las tecnologías renovables.	78
Figura 63: Planta termosolar Miraah.	79
Figura 64: Distribución de las energías renovables en Omán.	80
Figura 65: Capacidades totales de energía renovable (TREC) y producciones (TREP) de Omán.	80
Figura 66: Invernaderos de Sundrop Farm.	81
Figura 67: Planta Sundrop Farm.	82
Figura 68: Planta minera Codelco Gabriel Mistral.	82
Figura 69: Vista aérea de la instalación solar de la empresa Cosentino en Almería.	83

GEI	Gas de Efecto Invernadero
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
ST	sistemas térmicos solares
PV	Sistemas fotovoltaicos
e	número e

1. INTRODUCCIÓN

El fracaso es simplemente la oportunidad de empezar de nuevo, esta vez de forma más inteligente.

- Henry Ford-

1.1 Introducción.

La energía es, actualmente, el bien fundamental y la necesidad esencial para el avance, la modernización y la evolución económica de cualquier nación en el sector industrial. El sector industrial de cualquier nación tiene un impacto significativo en el crecimiento económico y social de cualquier país desarrollado. Sin embargo, debido a un rápido aumento en las demandas energéticas globales, se aborda la preocupación sobre cómo alcanzar los futuros requerimientos de energía térmica para satisfacer la demanda energética del sector industrial. A partir de declaraciones como estas comienzan a surgir dudas: ¿podrá la demanda industrial satisfacerse con la producción actual dentro de 20 años?, ¿soportará el globo las emisiones si sigue creciendo la industria de la misma manera en un periodo aún más largo?...

Alrededor del 32-35% de toda la energía global se consume en los sectores industriales. Se prevé que esta participación aumentará en un futuro no muy lejano. Podemos observar en la figura 1 unas estadísticas de la utilización de energía en el área industrial en 10 países diferentes alrededor del mundo. En esta figura 1, la barra muestra el uso de energía en el sector industrial en diferentes localizaciones. Se encontró que el consumo de energía para el sector industrial oscila entre el 28% y el 70% de los países. Haciendo una media de todas ellas, se considera que la línea dibujada en el diagrama representa la media del consumo, que está en torno al 35%. Se puede apreciar en esta figura que los mayores consumos están en aquellos países donde se en los últimos años la industria ha tenido un mayor peso en comparación al resto, como puede ser China, Bangladesh, Malasia o India.

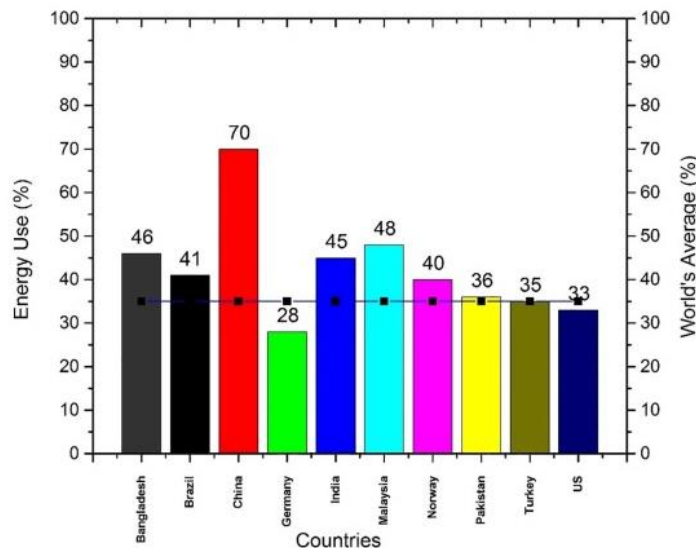


Figura 1: Uso de la energía en el área industrial en diferentes países del mundo. [1]

Además, de este promedio de alrededor el 35% del consumo de energía industrial se puede desgranar de la siguiente manera: el 30% de ese consumo está aplicado en procesos industriales con una temperatura de trabajo por debajo de los 150°C. El 22% está en procesos de temperaturas intermedias en rangos entre 150 °C y 400 °C y el 48% restante a temperaturas altas, temperaturas superiores a 400 °C. Para una mejor representación, se muestra la siguiente figura 2:

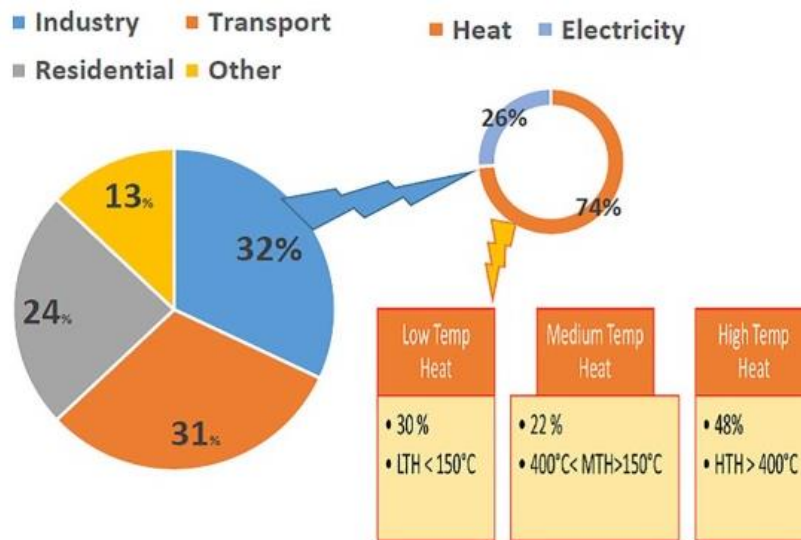


Figura 2: Estadísticas del uso de la energía térmica industrial por rangos de temperatura. [1]

Centrándonos en la figura 2 mostrada, el sector industrial consume más energía en comparación con cualquier otro sector. Además, como se representa, más del 74 % del consumo de energía industrial se utiliza para satisfacer la demanda de calor del proceso. Sin embargo, la energía solar puede satisfacer esta gran demanda de calor para los diversos procesos como se verá en capítulos posteriores. En los países en desarrollo donde las industrias agrícola, textil, farmacéutica, de procesamiento de alimentos y de ladrillos son subsectores importantes, la energía solar se puede utilizar como una fuente alternativa. Esta energía se podría utilizar para diversos procesos según la industria, algunos de estos ejemplos pueden ser: el secado, teñido, hervido, lavado, esterilización y pasteurización. La energía solar está disponible en abundancia y la implantación de un sistema de este tipo será una iniciativa hacia un futuro de producción de carbono cero para la industria. Las aplicaciones industriales en las regiones industrializadas de Europa, Australia, Asia y América funcionan efectivamente con energía solar térmica.

Es necesario mencionar que la caldera y el horno consumen una parte significativa de la energía en el sector industrial. Dentro de estos sistemas mencionados, los combustibles fósiles se queman para producir calor de proceso para aplicaciones industriales que generan emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero) y conducen al cambio climático. El problema ambiental crítico se genera cuando debido al efecto de estos cambios se producen efectos ambientales como: el aumento del nivel del mar, la pérdida de tierras costeras, cambios ecológicos diversos, etc.

Como ya comentamos antes, el crecimiento económico es directamente proporcional al consumo de energía. El consumo de energía y las emisiones están directamente relacionados y, por lo tanto, el aumento del consumo de energía genera cada vez más emisiones. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) investigó que el calentamiento global es el problema ambiental existente más crítico actualmente. Por tanto, se debe adoptar un enfoque de ecoeficiencia en todo el mundo para evitar que las emisiones superen un desafío marcado. Alrededor de un tercio de las emisiones globales totales son liberadas por el sector industrial cada año. En los EE. UU., casi el 80 % del uso de energía en el sector industrial proviene de la fabricación lo que lo convierte en un sector primordial para el avance. Entre los años 1971 y 2004, estas emisiones aumentaron en un promedio de 1,5% cada año. En la actualidad, los recursos energéticos tradicionales cubren casi el 80%

de los gastos energéticos globales (es decir, los recursos fósiles). Además, estos recursos convencionales son limitados y se agotan día a día y considerando todos los problemas ambientales y socioeconómicos, como puede ser la actual guerra entre Rusia y Ucrania, el requisito de confiar en las fuentes de energía renovables se vuelve inevitable. Por lo tanto, la energía renovable es una solución sostenible para la supervivencia de la humanidad en este planeta y volvernos con ella independientes de los recursos convencionales. Las fuentes de energía renovable, como podría ser, la energía solar, la biomasa, la eólica, la hidroeléctrica, la geotérmica y la mareomotriz también prometen unas emisiones de dióxido de carbono libre y se posicionan como unas opciones sostenibles.

Por poner un ejemplo de lo que pueden provocar estos GEI, Pakistán es un país con escasez de energía y, actualmente, se enfrenta a graves amenazas causadas por el calentamiento global. En concreto, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) ha clasificado a Pakistán como accesible a los efectos de la escalada del nivel del mar, ya que cada vez se producen en el país más inundaciones. Por ejemplos como este, que no es el único, se ve claramente que se necesitan establecer ciertas medidas para revertir estas situaciones.

Solar for industrial process heat (SIPH), la utilización de energía solar para procesos de calefacción es prometedora debido a que las tecnologías solares son cada vez más rentables y eficiente. Las tecnologías SIPH incluyen: sistemas térmicos solares (ST), fotovoltaicos (PV) e híbridos que capturan la energía solar y la convierten en calor para una variedad de procesos de calefacción. El requisito de temperatura de un proceso de unidad industrial es un factor clave tanto para estimar la demanda de calor como para evaluar las aplicaciones solares para el calentamiento de procesos. Muchos sistemas SIPH instalados hasta la fecha funcionan a temperaturas de 60 °C a 250 °C. Dado que gran parte de la demanda de calor de proceso, aproximadamente el 50 % entre las industrias manufactureras de EE. UU. con mayor consumo de energía, incluidos alimentos y bebidas y pulpa y papel, se produce a temperaturas de 300 °C o menos, la adopción de SIPH puede ser una solución eficaz en el camino hacia la transición a fuentes de energía limpias y desplazar el uso de combustibles convencionales en la industria. Además, SIPH requiere una evaluación considerable relacionada con la integración de procesos y, por lo tanto, presenta oportunidades para medidas de eficiencia energética muy necesarias en los sistemas de calor industrial [1]. Todo esto será detallado más adelante.

1.2 Panorama actual de las energías renovables.

La crisis energética global está impulsando una fuerte aceleración en las instalaciones de energía renovable, con un crecimiento de la capacidad total mundial que, se prevé que se duplicará en los próximos cinco años, superando al carbón como la mayor fuente de generación de electricidad en el camino y ayudando a mantener viva la posibilidad de limitar el calentamiento global a 1,5 °C, dice la AIE en un nuevo informe. Viendo así un horizonte un poco más esperanzador que el establecido estas últimas décadas.

Las preocupaciones sobre la seguridad energética causadas por los conflictos sociopolíticos que estamos viviendo estos últimos años, como puede ser la invasión rusa de Ucrania han motivado a los países a recurrir cada vez más a las energías renovables, como la solar y la eólica, para reducir la dependencia de los combustibles fósiles importados, cuyos precios se han disparado drásticamente. Se espera que la capacidad mundial de energía renovable crezca en 2.400 gigavatios (GW) durante el período 2022-2027, una cantidad equivalente a la capacidad total de energía de China en la actualidad, según *Renewables 2022*, la última edición del informe anual de la AIE sobre el sector.

Este aumento masivo esperado es un 30% más alto que la cantidad de crecimiento que se pronosticó hace solo un año, lo que destaca la rapidez con la que los gobiernos han puesto peso político adicional detrás de las energías renovables. El informe encuentra que las energías renovables representarán más del 90 % de la expansión mundial de la electricidad durante los próximos cinco años, superando al carbón para convertirse en la mayor fuente de electricidad mundial a principios de 2025. Un ejemplo muy claro de este crecimiento tan exponencial podría verse en la cantidad de viviendas a las que se le han acoplado captadores fotovoltaicos para reducir en las facturas de luz o en la cantidad de campos solares que podemos ver en cualquier localidad del sur de la península. Para que se pueda ver el crecimiento pronosticado de una manera visual, se muestra la figura 3:

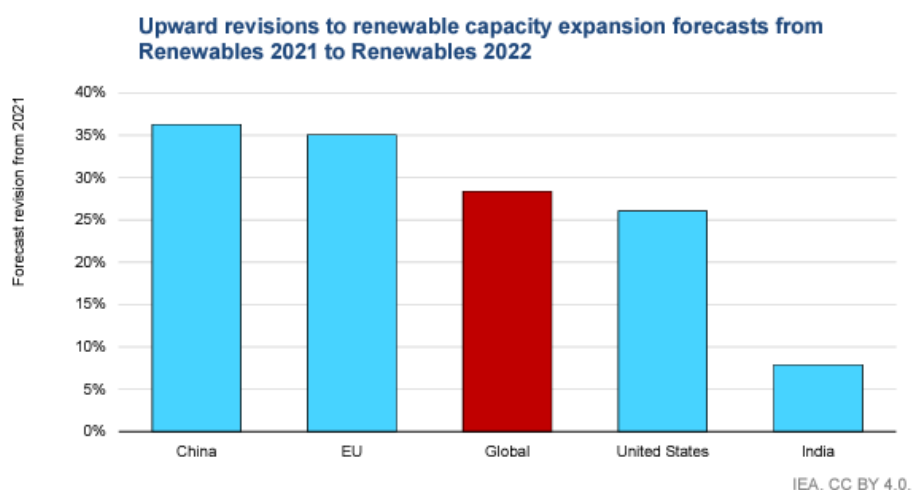


Figura 3: Crecimiento esperado de las energías renovables. [24]

Como podemos ver en la figura 3, hay un crecimiento significativamente grande impulsado por las políticas de expansión más ambiciosas en mercados clave, en parte como respuesta a la actual crisis energética. Esta aceleración sobre la tasa de expansión de los últimos cinco años se debe principalmente a dos factores: en primer lugar, los altos precios de los combustibles fósiles y de la electricidad resultantes de la crisis energética mundial han hecho que las tecnologías de energía renovable sean mucho más atractivas desde el punto de vista económico y, en segundo lugar, la invasión rusa de Ucrania ha provocado que los importadores de combustibles fósiles, especialmente en Europa, valoren cada vez más los beneficios de seguridad energética de las energías renovables. El pronóstico marcado para la mayoría de las economías avanzadas se basa en los objetivos ambiciosos y los incentivos de política de estos países, pero los desafíos de implementación continúan, especialmente en relación con la expansión de la infraestructura de la red y los permisos.

En las economías emergentes, las incertidumbres normativas y regulatorias, además de los desafíos de implementación, continúan siendo barreras clave para una expansión más rápida de las energías renovables. Finalmente, en los países en desarrollo, la infraestructura de red débil y la falta de acceso a financiamiento asequible dificultan la puesta en marcha más rápida de múltiples proyectos en nuestro pronóstico de caso principal.

La IEA apunta que la guerra en Ucrania es un momento decisivo para las energías renovables en Europa, donde los gobiernos y las empresas buscan reemplazar rápidamente el gas ruso con distintas alternativas que, además de proporcionarles una energía estable e independiente del gas, le proporcione unos beneficios en cuanto a la emisión de gases. Se podría lograr un despliegue aún más rápido de la energía eólica y solar fotovoltaica si los estados miembros de la UE implementaran rápidamente una serie de políticas, incluida la simplificación y reducción de los plazos de obtención de permisos, la mejora de los diseños de las subastas y la mejora de la visibilidad de los calendarios de las subastas, así como la mejora de los planes de incentivos para soporte de techo solar.

Más allá de Europa, la revisión al alza en el crecimiento de la energía renovable para los próximos cinco años también está impulsada por China, Estados Unidos e India, que están implementando políticas e introduciendo reformas regulatorias y de mercado más rápidamente de lo previsto para combatir la crisis energética. Como resultado de su reciente 14º Plan Quinquenal, se espera que China represente casi la mitad de las nuevas adiciones de capacidad de energía renovable global durante el período 2022-2027. Mientras tanto, la Ley de Reducción de la Inflación de EE. UU. ha brindado nuevo apoyo y visibilidad a largo plazo para la expansión de las energías renovables en los Estados Unidos.

La energía solar a gran escala y la energía eólica terrestre son las opciones más baratas para la nueva generación de electricidad en una gran mayoría de países en todo el mundo. El informe también pronostica una aceleración de las instalaciones de captadores solares en los techos residenciales y comerciales, que ayudan a los consumidores a reducir las facturas de energía. La capacidad eólica mundial casi se duplica en el período de pronóstico (2022-2027), y los proyectos en alta mar representan una quinta parte del crecimiento. Juntas, la energía eólica y la solar representarán más del 90 % de la capacidad de energía renovable que se agregará en los

próximos cinco años.

Se espera que la demanda mundial total de biocombustibles se expanda en un 22 % durante el período 2022-2027. Estados Unidos, Canadá, Brasil, Indonesia e India representan el 80% de la expansión global esperada en el uso de biocombustibles, y los cinco países cuentan con políticas integrales para respaldar el crecimiento.

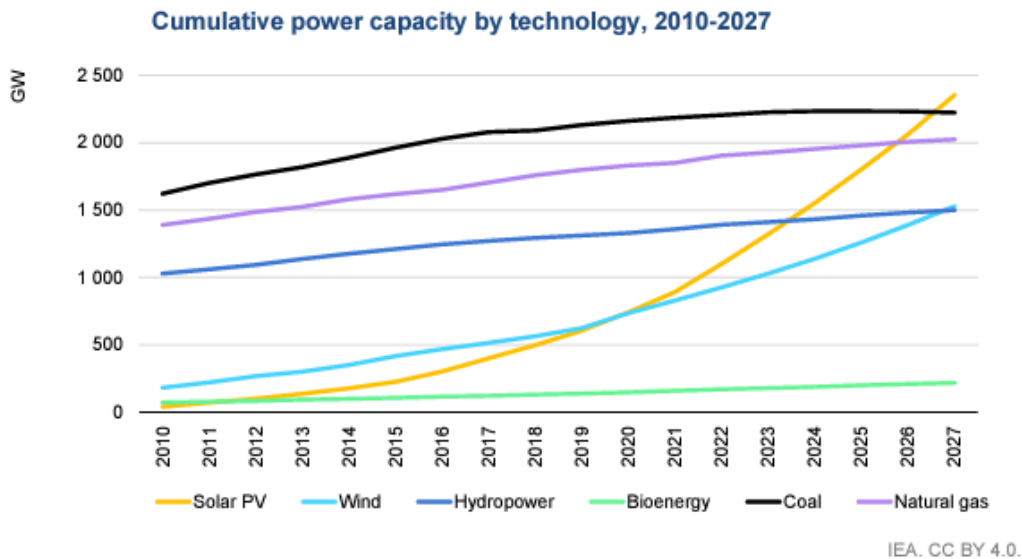


Figura 4: Potencia acumulada por tecnología desde 2010-2027. [24]

En la figura 4 que se ha mostrado antes se puede apreciar el crecimiento de distintas tecnologías. Lo primero que se puede pensar es en el fuerte impulso que van a tener las tecnologías fotovoltaicas, superando la capacidad de producción del carbón, una fuente que lleva utilizándose desde la revolución industrial.

1.3 Recurso solar.

La energía producida por una instalación solar depende directamente de la radiación solar disponible para su captación, por tanto, intrínsecamente, depende de la ubicación en la que se sitúa un sistema de estas características. Dicha radiación puede presentarse de dos maneras distintas: radiación directa recibida directamente del sol sin obstáculos ninguno o como radiación difusa (radiación que se encuentra en la atmósfera con obstáculos y no llega de manera directa. Estos dos tipos de radiación se pueden apreciar en la figura 5:

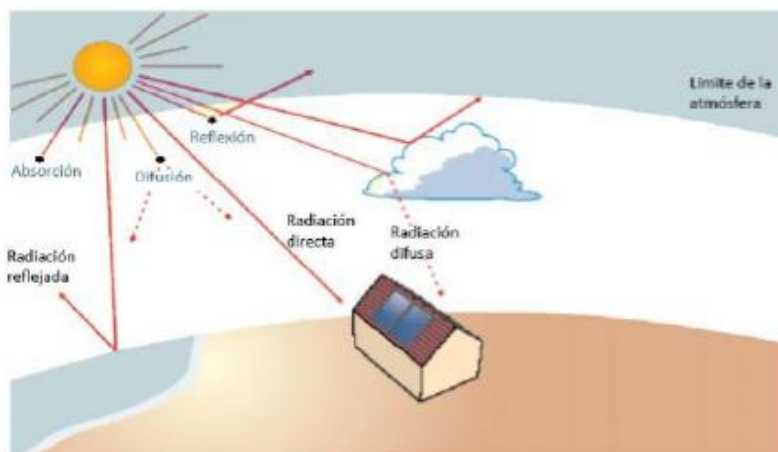


Figura 5: Representación de los diversos tipos de radiación y procesos que hay en la atmósfera. [23]

Como se aprecia en la imagen, tal y como se ha comentado antes, la radiación difusa llega tras ser rebotada en la nube que actúa de barrera y, además de llegar de rebote, llega con menos fuerza que la radiación directa.

El nivel de radiación anual incidente en una superficie de captación, como se ha comentado, depende de la ubicación, clima, configuración de la instalación, posibles sombras incidentes, ángulo incidente (este último depende de la inclinación y de la orientación de la superficie del captador) y diversos factores. Para optimizar la captación de la radiación solar, se deben de ajustar con mucho cuidado la orientación e inclinación. Para ello, es necesario tener en cuenta los ángulos que definen la posición de la superficie respecto al sol, los ángulos que definen la posición del sol (ángulos de acimut y elevación del sol) que varían con la latitud del lugar, la época del año y de la hora del día.

Cuando este sistema de captación es estacionario, es decir, que no dispone de seguimiento solar, a este se le debe poner la inclinación necesaria respecto a la horizontal en función de la latitud de la ubicación y de la estación del año de uso, teniendo una inclinación mayor en invierno y una menor para el verano debido a la posición del sol.

La radiación que incide sobre el plano del captador se puede calcular a partir de la que incide en la horizontal del mismo y de los ángulos que determinan el ángulo de incidencia en tre la radiación solar incidente u la perpendicular del plano del captador solar, es decir, de su inclinación y el ángulo acimutal del captador también conocido como orientación.

A nivel nacional, el nivel de radiación varía considerablemente entre el norte y el sur como se puede apreciar en la figura 6:

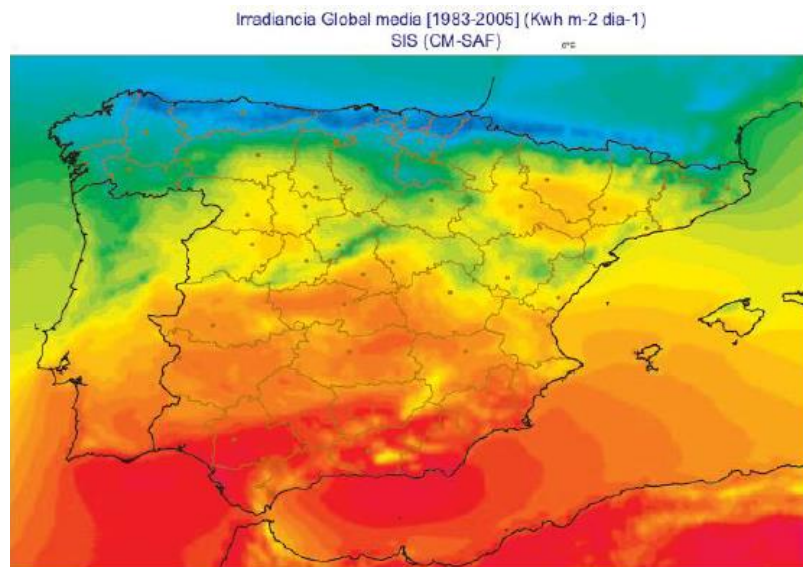


Figura 6: Irradiación solar a nivel peninsular.[23]

Como se aprecia en la figura, la parte sur tiene mucha más radiación (según los colores) que la parte norte. Esta irradiación puede variar desde los $1.100 \frac{kWh}{m^2} - \text{año}$ hasta valores por encima de los $1.900 \frac{kWh}{m^2} - \text{año}$, que es equivalente a decir que año tras año recibe el país en el que habitamos, de manera comparativa, la energía contenida entre 110 y 200 L de gasóleo. Tales valores muestran el enorme potencial que hay a nivel solar y con el que se podrían ahorrar a nivel industrial, sobre todo en demandas de calor.

Como se verán en los capítulos siguientes, tanto en los captadores fijos como en los estacionarios (estos últimos son los más usados), la inclinación y orientación de la superficie de apertura no cambian a lo largo del día, ni del año. Por otro lado, en los captadores que tienen instalados un dispositivo de seguimiento, la orientación del área de captación sí que varía a lo largo del día dependiendo de la posición solar.

A la hora de seleccionar la tecnología solar que vayamos a implantar al proceso industrial, hay que considerar las siguientes características:

- La inclinación del captador estacionario (el que se mantiene fijo) debe corresponder, en general, a la latitud del emplazamiento donde se encuentra y debe de estar orientado hacia el sur (ya que en nuestro hemisferio es la orientación por donde puede recibir más radiación). Tal inclinación aumenta un 10-12% la radiación solar global disponible con respecto a los valores sobre la superficie horizontal.
- El valor de la radiación solar global disponible sobre una superficie con seguimiento en dos ejes, tal que la perpendicular a la superficie de apertura siempre apunta hacia el sol, es de un 20-25% superior a la radiación solar global sobre una superficie fija inclinada a la latitud. El inconveniente de este tipo de ejes es que aumentan considerablemente el coste total del sistema, por tanto, hay muchas veces que habrá que evaluar si es rentable o no esa mejoría con respecto al seguimiento a un eje o al estacionario.
- Los valores de radiación solar directa disponibles sobre una superficie con seguimiento en dos ejes es semejante a la radiación solar global sobre una superficie fija orientada hacia el sur e inclinada con un ángulo igual al de la latitud de su emplazamiento.
- La radiación difusa sobre una superficie horizontal a lo largo del año representa alrededor del 30% de la radiación global anual.

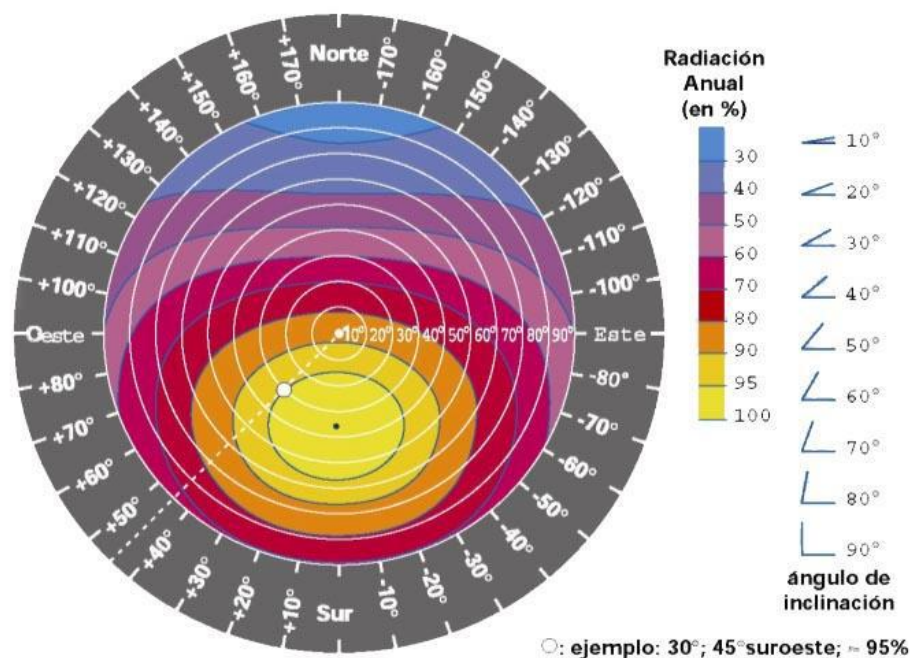


Figura 7: Relación entre la radiación global disponible sobre la apertura de un captador estacionario con una determinada inclinación sobre la horizontal y una determinada orientación y la radiación máxima posible.

1.4 Introducción a la energía Solar Térmica y calentamiento de procesos industriales.

La energía solar térmica es, básicamente, la conversión de la radiación solar en calor. Como se muestra de una manera resumida en la figura 8, los sistemas de conversión de energía solar térmica utilizan el captador solar para recoger las radiaciones solares (donde llega la radiación procedente del sol). Posteriormente, estas radiaciones pueden almacenarse o usarse directamente para calentar el aire o el agua con fines comerciales, domésticos o uso industrial.

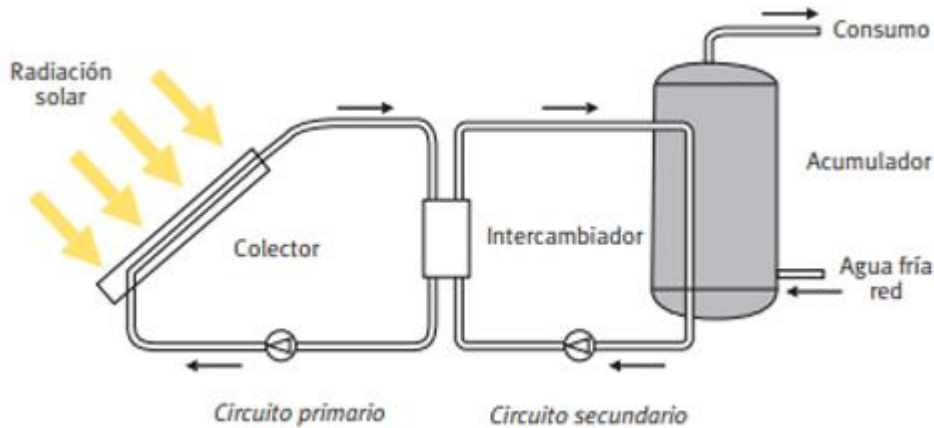


Figura 8: Instalación de energía térmica.

El esquema muestra la conversión de una manera muy sencilla de la radiación solar en trabajo mecánico. Es un objetivo clave estudiar el tipo de captador solar térmico que se va a instalar, tanto como el sistema de almacenamiento, el fluido de trabajo, la capacidad del sistema, los factores de carga y la ubicación para las aplicaciones específicas. Estos factores comentados son los factores determinantes de cómo funcionará o cómo será el proceso industrial al que se va a aplicar el sistema.

Existen varias ventajas de aprovechar la energía solar como energía térmica para el calor de procesos industriales, pero las más importantes de ellas son que reducen la dependencia de los combustibles fósiles y la reducción de las emisiones de GEI. Sin embargo, existen desafíos para integrar este calor solar en los diversos procesos industriales y la selección de captadores solares térmicos optimizados. Numerosos estudiosos han demostrado el análisis de viabilidad de la integración del calor solar a través de un captador solar térmico adecuado en procesos industriales.

Los procesos industriales demandan energía térmica a diferentes niveles de temperatura y a través de procedimientos variados. Desde la sala de calderas, o la cogeneración el calor generado alcanza los diferentes procesos utilizando como fluido térmico agua o aire caliente, agua sobrecalentada, vapor de agua, aceite térmico, etc. Esto comentado, se puede ver reflejado en la figura 9:

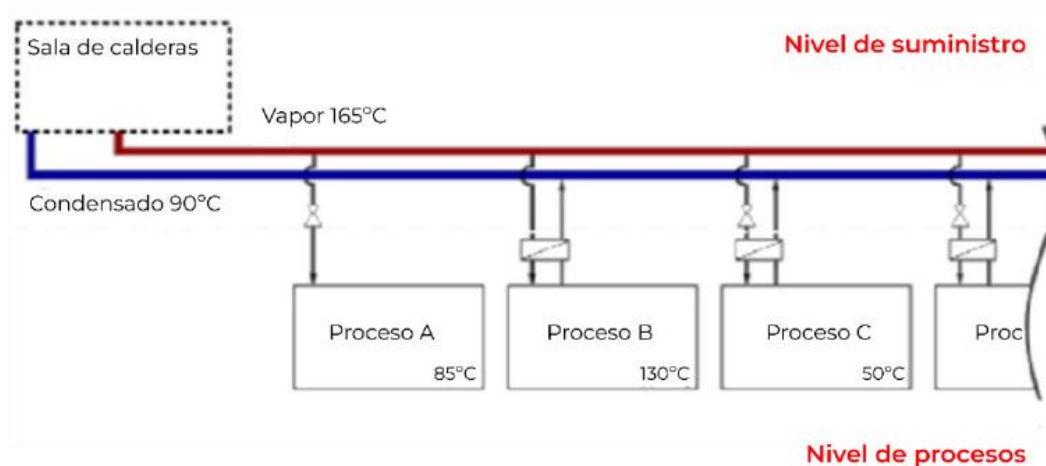


Figura 9: Distribución de calor a distintas temperaturas desde la sala de calderas.

Como se aprecia en la figura mostrada, aunque la temperatura desde la sala de calderas (a nivel de suministro) salga a una temperatura superior a la de los distintos procesos, mediante intercambiadores de temperatura se puede regular la temperatura de trabajo a la que se adapte cada una de ellas (a nivel de procesos).

Para realizar la alimentación de calor a varios procesos de una misma industria, que normalmente requieren diferentes potencias/caudales y diferentes temperaturas, es necesario que el suministro general sea capaz de prestar el servicio en las condiciones más desfavorables de caudal y temperatura lo que condiciona el funcionamiento del sistema completo y la forma de acoplamiento de la instalación solar térmica. Es fundamental diferenciar las temperaturas de los procesos y las de suministro de calor, pues muchas veces el sistema de suministro de calor fija su nivel térmico para poder aportar el calor en las condiciones requeridas por el sistema que requiere una mayor temperatura, mientras que otros procesos pueden requerir temperaturas significativamente menores.

A la vez que se analizan las posibilidades de integración de la instalación solar, es necesario introducir en cada uno de los procesos y en el diseño del sistema completo las medidas de ahorro y eficiencia energética que sean técnica y económicamente viables.

Un ejemplo de aplicación a varios procesos concretos (reales) se muestran en la figura 10:

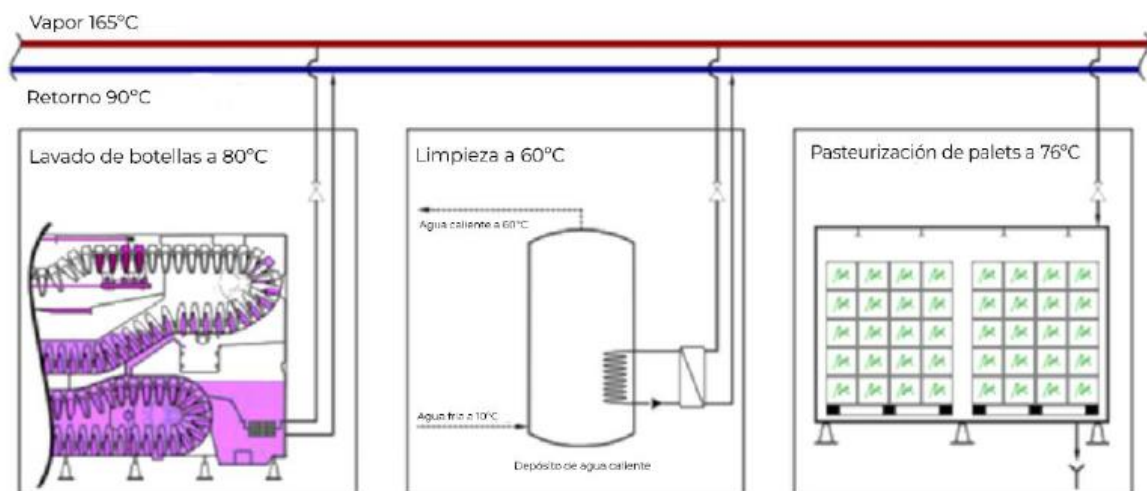


Figura 10: Ejemplo de aplicación a varios procesos.

Esta figura se ha mostrado para desarrollar algo más la mostrada en la figura 9.

1.5 Principales procesos industriales y aplicaciones.

Las instalaciones de energía solar térmica permiten la producción de aire, agua caliente, agua caliente sobrecalentada y vapor alcanzando un rango muy variable de temperaturas. Dicha producción energética puede ser aprovechada en procesos térmicos de la industria tales como secado, lavado, cocción, etc. o cualquier proceso que se mencionará al final del siguiente apartado.

El uso de energía solar térmica en los procesos industriales tiene que ser analizado en el contexto de los requisitos y prioridades de cada industria, ya que cada proceso industrial tiene unas características de operación distintas, de manera que hay que tener los siguientes puntos fundamentales en todos los procesos:

- La seguridad y la garantía de suministro es determinante en la selección de los equipos de generación térmica para evitar discontinuidades en el proceso productivo que pueden derivar a su vez en pérdidas para la industria.
- El sector industrial tiende de forma natural a mejorar la calidad de sus productos y servicios y a optimizar el consumo energético de sus procesos mejorando la eficiencia energética, incorporando energías renovables, disminuyendo sus emisiones y también sus residuos. La conciencia ecológica se percibe por el cliente o usuario del producto o servicio, como una demostración de calidad y diferenciación, de manera que el producto 'Verde' es ahora demandado por una sociedad mucho más concienciada. Este punto ha generado mucha controversia en las últimas décadas, ya que todos los electrodomésticos, incluso las viviendas se venden al público con un certificado energético.

- En muchas ocasiones, a pesar de que el gasto energético es muy significativo y limita la rentabilidad de la industria, éste no se gestiona ni contabiliza separadamente para cada proceso, por lo que todavía hay bastante desconocimiento acerca de las posibilidades de ahorro energético/económico y en qué consumos es más importante. El conocimiento desagregado de los diferentes consumos existentes en una industria permite afrontar cada uno de una forma separada y específica ofreciendo para cada uno de ellos la solución que mejor se adecúe.
- En el sector industrial, habitualmente se suelen requerir periodos de retorno de las inversiones inferiores a los exigidos en otros ámbitos y se priorizan actuaciones directamente ligadas al proceso productivo y no tanto a su consumo energético. Si bien, esto depende del peso que tenga el coste del consumo energético con respecto al resto de costes que tenga que afrontar la industria.
- Dado que en el sector industrial no suele existir suficiente nivel de concienciación sobre la utilidad y rentabilidad del uso de energía solar térmica, como podría ser en otros sectores como el de la producción de energía, el papel que pueden asumir las empresas de servicios energéticos que suministren la energía térmica a la industria a un precio acordado, asumiendo la inversión y la explotación de la instalación solar, puede ser muy importante así como la información acerca de las posibilidades de mejora que puedan aportar las auditorías energéticas a las que se vean sometidas éstas.
- Las instalaciones solares térmicas son en general una energía de apoyo que supone un ahorro en consumo de energía convencional y que en ocasiones puede aportar el 100 % de la energía necesaria en las condiciones que se precisan, pero, a pesar del uso extensivo que han tenido en el sector de la edificación, son todavía bastante desconocidas y, por lo tanto, generan desconfianza a la hora de ser utilizados en procesos industriales.

Gracias a los conocimientos aportados por el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) es posible conocer cuáles son los procesos térmicos más utilizados en relación con la viabilidad y potencial de utilización de instalaciones solares térmicas dentro de la industria de España. [25]

Como se muestra a continuación, una parte significativa de la demanda de calor en las aplicaciones industriales se realiza a baja temperatura como ocurre en algunos sectores entre los que destacan el agroalimentario, bebidas, papel, tratamiento de metales, ladrillos, textil y otros y para diversos procesos como son limpieza, secado, evaporación y destilación, escaldado, pasteurización, esterilización, cocción, fundición, pintura, tratamiento de superficies. Por tanto, todos en los casos que se verán a continuación, la temperatura no será muy elevada. Hay que destacar que el consumo térmico de un proceso industrial se puede descomponer, como se establece en la metodología EINSTEIN:

Arranque: calentamiento inicial de un equipo (por ejemplo, un baño) después de una parada, hasta alcanzar la temperatura de proceso. Por tanto, una parte importante del aporte energético puede ser a temperaturas muy inferiores a la temperatura de proceso. Por lo tanto, si el proceso asociado tiene una temperatura de trabajo muy elevada, este proceso puede durar un tiempo bastante prolongado.

Circulación: calentamiento de flujos entrantes desde una temperatura inicial de entrada hasta la temperatura de proceso. En este caso parte de la energía aportada puede ser a temperaturas muy inferiores a la de la temperatura de proceso. (Por ejemplo, llenado de los baños con agua de red).

Mantenimiento: es el consumo energético necesario para mantener el equipamiento del proceso a una temperatura determinada. Este aporte energético se requiere a un nivel de temperatura igual o superior a la temperatura de proceso.

La distribución del consumo energético de un proceso en los componentes arranque, circulación y mantenimiento depende de las características de cada proceso específico teniendo en cuenta el tipo maquinaria utilizada, la modalidad de funcionamiento etc.

Por tanto, con lo comentado, se muestran los diferentes sectores, con sus respectivos procesos, más significativos, que no quiere decir que sean los únicos dentro del ámbito nacional:

- **Industria cárnica:** La aportación térmica en este sector se centra en los procesos con demandas inferiores a 100 °C y los procesos más significativos serían los siguientes:
 - Calefacción naves y oficinas.
 - Secaderos y estufas.

- Agua caliente limpieza.
- Escaldado y depilado.
- Esterilización cuchillos y utensilios de trabajo.
- Cocción (inmersión en agua).
- Cocción y ahumado (hornos aire seco).

En casos particulares sin restricción de superficie es posible también cubrir adicionalmente parte de las demandas de vapor de autoclaves y otros usos de vapor.

- **Industrias lácteas:** Para este caso, la aportación solar se centra en los procesos con demandas inferiores a 100 °C, con una aportación importante para la generación de frío en los siguientes procesos:
 - Calefacción naves y oficinas.
 - Agua caliente limpieza.
 - Termización/higienización.
 - Desnatado.
 - Pasteurización.
 - Esterilización.
 - Fermentación del yogur.
 - Coagulación del queso.
 - Fusión del queso.

Adicionalmente, como en el caso anterior también comentado, para casos particulares sin restricción de superficie es posible cubrir adicionalmente parte de las demandas para el precalentamiento en el proceso de secado (deshidratación) y de tratamiento UHT.

- **Panadería y pastelería:** La aportación solar se centra en los procesos con demandas inferiores a 60 °C y a la generación de frío para aire acondicionado:
 - Calefacción naves y oficinas.
 - Agua caliente limpieza.
 - Fermentación.
 - Reposo.
- **Industria de la madera y el corcho:** La aportación solar se centra en los procesos con demandas inferiores a 130 °C correspondientes a:
 - Calefacción naves y oficinas.
 - Secado.
 - Impregnación.
 - Recubrimiento.
 - Baños calientes a baja temperatura.
 - Baños calientes a alta temperatura.
- **Productos farmacéuticos:** La aportación solar se centra en los procesos con demandas inferiores a 110 °C, siendo los siguientes:
 - Calefacción de naves y oficinas.
 - Producción de benzodiazepinas.
 - Producción de penicilina.

- Extracción de alcaloides de indol.
- Oxidación de pirazolidona.
- Secado de pirazolona.
- Fermentación de B12.
- CIP.
- Concentración.
- Secado de pastillas.
- Esterilización (precalentamiento).

Para casos particulares sin restricción de superficie es posible también cubrir adicionalmente parte de las demandas de calor a temperaturas superiores.

Algunos de los diversos procesos en diferentes industrias, algunos mencionados previamente, donde la energía solar térmica se podría utilizar para satisfacer la demanda requerida se muestran en la figura 9.



Figura 11: Procesos industriales a los que se le podría aplicar un sistema de Energía solar Térmica. [1]

Centrándonos en la industria, en la producción de calor industrial (“Industrial Process Heat”, IPH) es un paso fundamental a la hora de la fabricación, que trata o transforma materias primas sólidas, líquidas y/o gaseosas en productos e intermedios industriales mediante la aplicación de calor. Las tecnologías de calentamiento de procesos, a menudo se caracterizan por el tipo de entrada de calor en un proceso: combustible, vapor y electricidad. Los sistemas híbridos utilizan una combinación de tales factores. Los métodos de transferencia de calor desde estas entradas al material que se procesa pueden ser directos o indirectos (como ya se mostrarán más adelante), y se basan en mecanismos fundamentales de transferencia de calor: conducción, convección y radiación. El calentamiento directo ocurre cuando el calor se genera dentro o en contacto con el material, y el calentamiento indirecto ocurre cuando el calor se genera separado del material y se transfiere a través de tubos de quemadores radiantes, paneles o fluidos de transferencia de calor (HTF, Heat transfer fluid).

En las tecnologías basadas en combustibles, la combustión de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos genera calor directa o indirectamente para el material que se procesa. Los tipos de combustibles utilizados para el calentamiento de procesos pueden ser combustibles fósiles (gas natural, carbón, petróleo) o biomasa (aceite vegetal, astillas de madera), y se combinan con aire u oxígeno como oxidantes. En los EE. UU., el gas natural representa la porción más grande de los combustibles, alcanzando el 51 % de la mezcla, y los combustibles derivados (gas residual, subproductos de la madera, etc.) representan la siguiente porción más grande con el 36 %. Los equipos basados en combustión incluyen hornos, calentadores y fundidores y están presentes en casi

todas las industrias.

Las tecnologías basadas en vapor utilizan el calor de la combustión para crear vapor y entregarlo al proceso por métodos directos (rociado de vapor) o indirectos (sistemas de distribución de vapor, intercambiadores de calor). Las calderas son el equipo principal para la generación de vapor. Estas dependen del calor de la combustión del propio combustible y representa una cantidad significativa de energía utilizada en el proceso de calefacción. Dado que el vapor es denso en energía y puede almacenar calor como calor latente, lo que permite la transferencia de calor a temperatura constante, es especialmente conveniente para el calentamiento de procesos. Como resultado, la energía utilizada para generar vapor representa el 29 % del consumo de energía primaria en la fabricación dentro de EE. UU (pudiéndose aplicar tal dato como referencia a nivel internacional).

El proceso de calentamiento eléctrico utiliza corrientes eléctricas o campos electromagnéticos para generar calor. Los métodos directos implican pasar una corriente eléctrica a través del material, inducir una corriente en el material o excitar átomos dentro del material mediante radiación electromagnética (microondas), mientras que los métodos indirectos requieren un elemento calefactor para transferir el calor generado en una de las tres formas anteriores. Las tecnologías de calentamiento eléctrico incluyen el calentamiento por resistencia, el calentamiento por inducción, el procesamiento por microondas, el calentamiento por horno de arco eléctrico, las calderas eléctricas, las bombas de calor y el secado por radiofrecuencia, y se concentran en unas pocas industrias, como la del acero y el vidrio, donde los hornos de arco y los hornos eléctricos son predominantes, respectivamente. En la fabricación de EE. UU., la electricidad es responsable del 5 % del consumo de energía de calentamiento de procesos.

En los EE. UU., cinco industrias, que son las de: refinación de petróleo, productos químicos, productos forestales, hierro y acero, y alimentos y bebidas, representan el 82 % del uso total de energía de calefacción de procesos. A continuación, en la figura 12 se muestra el uso de energía térmica de proceso de las industrias con el mayor uso de energía térmica de proceso. La calefacción a base de combustible y vapor es la más frecuente para la energía de calefacción de procesos, mientras que la electricidad aporta solo un 3% de la energía de calefacción de procesos entre estas industrias y, por lo tanto, se omite de esta cifra. Las industrias con alto consumo de energía térmica de proceso indican industria objetivo para SIPH (Energía solar para plantas industriales, Solar Industry Plan Heat) y donde puede tener el mayor efecto en la reducción del uso de combustible.

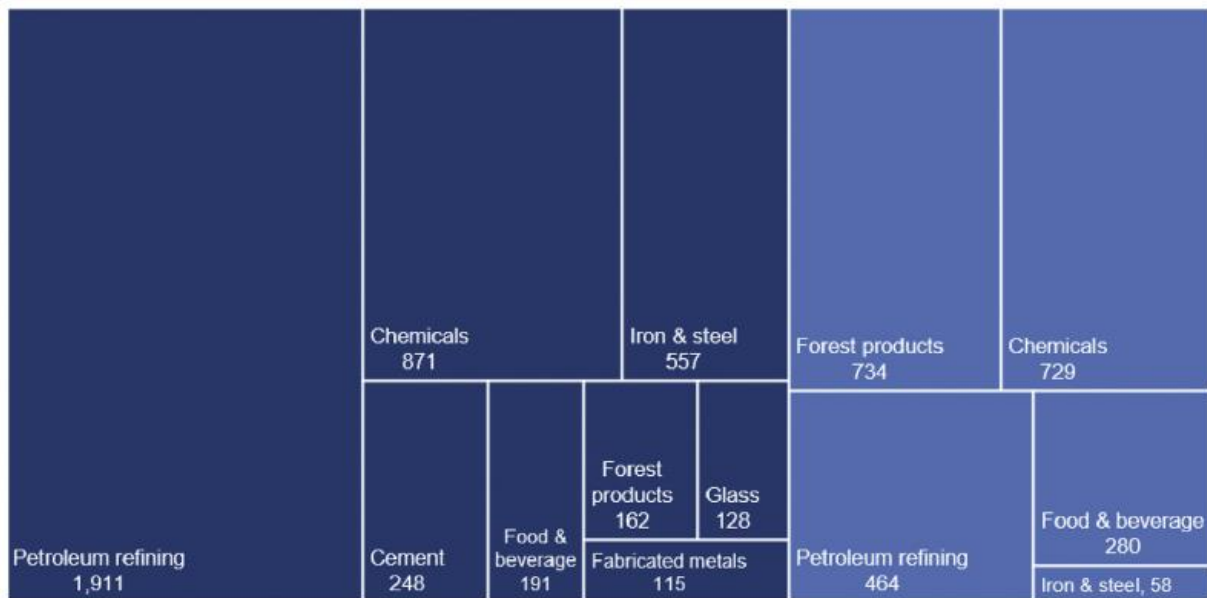


Figura 12: Calor utilizado en el proceso de calentamiento en EE. UU. dependiendo de la industria. [25]

Después de haber visto la imagen anterior, cabría remarcar que, para poder trasladar estas unidades a nuestras referencias, 1W correspondería a 3,41 BTU/h, para que se pueda hacer el lector una idea de cuanta potencia se está hablando al ver tal figurar. Como se puede observar, la industria que más porción tiene asociada es la industria petroquímica debido a la cantidad de procesos que lleva asociado el refinado de petróleo.

Para transformar el combustible y la electricidad en energía térmica útil, las instalaciones industriales dependen de varias tecnologías de conversión térmica: calderas, cogeneración/cogeneración de calor y electricidad (CHP), quemadores y bombas de calor. El uso de una determinada tecnología en las instalaciones, a menudo, depende del medio de transferencia de calor deseado: para calderas y sistemas CHP, el HTF puede ser vapor, agua caliente/presurizada o aceite térmico; para quemadores, normalmente es aire caliente; y para bombas de calor, puede ser agua caliente, aire caliente o aceite térmico.

Los sistemas híbridos de calentamiento de procesos combinan tecnologías que utilizan diferentes fuentes de energía y/o mecanismos de calentamiento. Por ejemplo, los sistemas de calderas híbridas consisten tanto en una caldera a base de combustible como en una caldera eléctrica para aprovechar los precios de la electricidad en los picos bajos. En las aplicaciones de calefacción solar, las tecnologías fotovoltaicas/térmicas (PVT), que combinan tubos captadores solares térmicos (ST) con paneles fotovoltaicos, han sido un área de interés durante las últimas décadas, aunque han tardado en entrar en el mercado comercial; y también se ha investigado la combinación de un sistema de captador cilindroparábólico (PTC) para generación directa de vapor (DSG) con una caldera de biomasa. Los sistemas híbridos permiten optimizar la energía del proceso, incluida la recuperación del calor residual, y mejorar la eficiencia. La elección de cada uno de estos sistemas asociados a la industria dependerá del tipo de inversión que se quiera realizar, del espacio que se tenga disponible y de muchos más factores asociados. [2]

1.5.1 Operaciones de calentamiento.

Además de los tipos de fuentes de energía y tecnologías de conversión de energía térmica, como se ha descrito anteriormente, el modo de operación de la industria es una característica importante que también afecta el tipo de equipo utilizado y las formas en que se pueden integrar fuentes de calor alternativas en las instalaciones industriales. Durante el funcionamiento, la carga que se está calentando puede pasar por el equipo de calentamiento del proceso de forma continua o en pasos discretos durante las condiciones y el tiempo establecidos. Esta distinción entre operaciones continuas y por lotes tiene implicaciones para estimar la demanda de calor en una escala de tiempo de funcionamiento precisa, así como para la necesidad de almacenamiento de energía térmica (TES, Thermal Energy Store) en los sistemas SIPH.

Las principales operaciones de calentamiento industrial son: calentamiento de fluidos, secado, fundición, calcinación, tratamiento térmico y recalentamiento, fusión, curado y formado (como ya se comentó en el anterior apartado). El desglose de la energía del proceso por tipo de fuente de energía para cada una de estas operaciones en el sector manufacturero de EE. UU. en 2010 se muestra en la figura 13, para que así se puedan ver esta vez de manera cuantitativa según los distintos sectores. Las operaciones de calentamiento enumeradas aquí se refieren al objetivo general de transferencia de calor (por ejemplo, calentamiento de fluidos), mientras que los procesos unitarios se refieren a pasos específicos del proceso de fabricación que requieren calor (por ejemplo, la destilación).

El calentamiento de fluidos es responsable de la mayor parte del uso de energía del proceso y se usa comúnmente en productos químicos y refinación de petróleo para hervir y destilar, y en el procesamiento de alimentos y bebidas para cocinar, fermentar, pasteurizar y esterilizar. El gas y “otros” combustibles, que se refieren a productos de desecho como el aserrín, el gas de refinería o el coque de petróleo, representan la mayor parte del uso de energía de proceso para operaciones de calentamiento y específicamente para el calentamiento de fluidos, una operación que pueden cumplir las aplicaciones SIPH, como se analiza en las siguientes secciones, lo que demuestra una oportunidad significativa para que la energía solar reduzca el uso de combustible en el calentamiento de procesos. [2]

Una de las primeras cosas que se pueden apreciar es que debido a que se está hablando de procesos industriales en los Estados Unidos, se tiene que apreciar la gran cantidad de gas natural que tienen en sus reservas, por tal motivo, es tan usado.

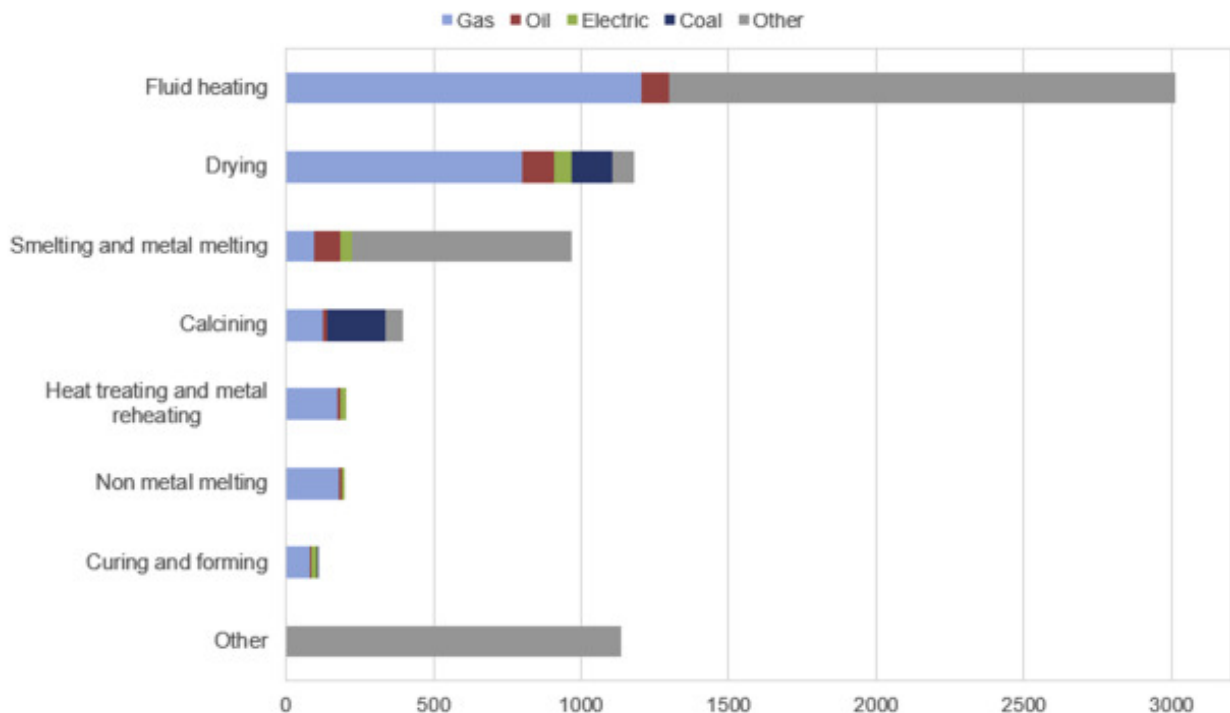


Figura 13: Cantidad de energía utilizada para los distintos procesos industriales. [25]

1.5.2 Procesos unitarios.

Dado que IPH varía ampliamente según la industria y los parámetros operativos, como las propiedades deseadas del material y la temperatura requerida, es útil usar el término "proceso unitario" para describir un solo paso dentro de un sistema de proceso de fabricación al considerar las entradas de calor y las operaciones de calentamiento.

Dependiendo de la industria, las operaciones de calentamiento comunes se aplican a varios procesos unitarios, como esterilización, pasteurización, destilación y evaporación. Si bien un proceso unitario determinado a menudo está presente en más de una industria manufacturera, generalmente se operan a diferentes temperaturas y tasas de calor en función de las características del proceso de la industria en particular la figura 14 se muestran algunos de los procesos unitarios más importantes relacionados con el calentamiento de procesos en el sector manufacturero de EE. UU. ordenados por rango de temperatura de funcionamiento.

Debajo de las temperaturas de proceso unitarias se encuentran los rangos de temperatura de las tecnologías SIPH para mostrar qué tecnologías SIPH son capaces de proporcionar calor a las temperaturas de proceso requeridas. Existe una superposición en los rangos de temperatura entre las tecnologías solares, ya que los sistemas dependen de la aplicación, el clima y el costo específicos.

La energía fotovoltaica con tecnologías de calefacción eléctrica, como bombas de calor, calderas eléctricas, resistencia y calefacción por inducción, se incluyen para mostrar la posibilidad de sistemas de calefacción eléctrica solar. Muchas de estas tecnologías eléctricas ya se utilizan en el sector industrial.

1.6 Análisis bibliométrico de la documentación utilizada.

Antes de cerrar el primer apartado, se hace uso de este análisis bibliométrico en busca de resumir un poco las fuentes que se han utilizado para obtener toda la información de la que ha bebido este trabajo. Casi toda la documentación que se ha utilizado ha sido obtenida de la página web Scencedirect, pero también se ha obtenido información proveniente de otras webs como la página de la escuela, donde se ha recopilado información proveniente de las distintas materias que se han impartido a lo largo del máster y la carrera previa. Esta primera página mencionada es una gran fuente de información, la cual contiene cientos de artículos científicos publicados. Por tanto, lo primero que se comentará es el cómo se ha procedido a la búsqueda y filtrado de

tantísima información. Cabe mencionar que esta no es la única plataforma donde hay publicados artículos de esta índole, ya que existen otras también muy útiles, como pudiera haber sido la plataforma de Google Scholar. Finalmente se seleccionó la mencionada ya que gracias a la US se podía navegar y descargar artículos sin ningún tipo de problema.

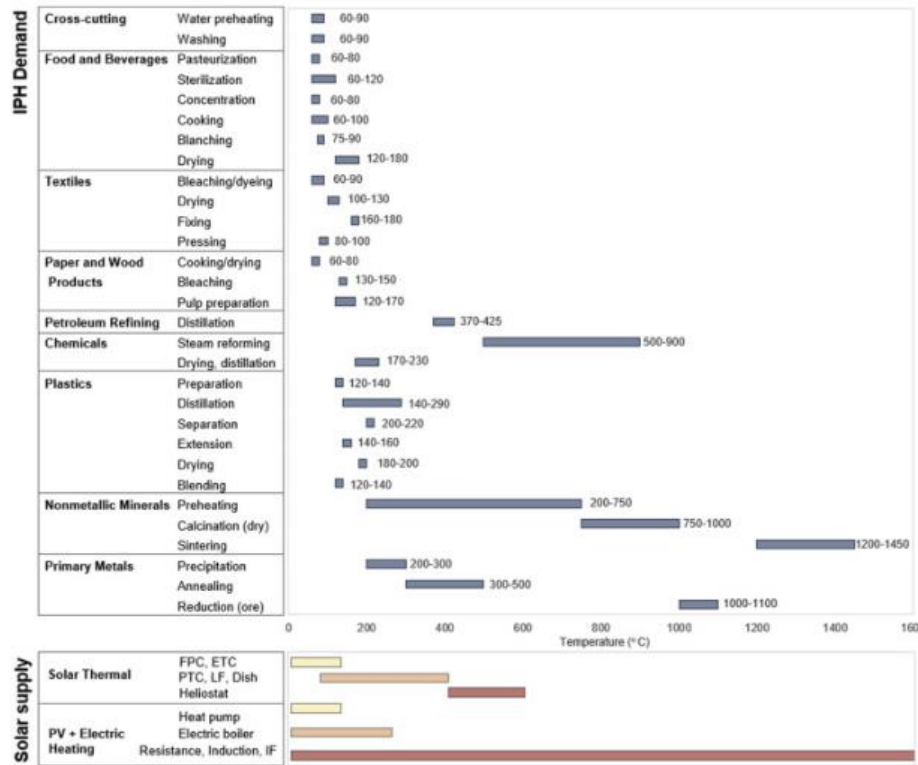


Figura 14: Rangos de temperatura según el tipo de industria y el proceso asociado. [25]

1.7 Análisis bibliométrico de la documentación utilizada.

Antes de cerrar el primer apartado, se hace uso de este análisis bibliométrico en busca de resumir un poco las fuentes que se han utilizado para obtener toda la información de la que ha bebido este trabajo. Casi toda la documentación que se ha utilizado ha sido obtenida de la página web Scienedirect, pero también se ha obtenido información proveniente de otras webs como la página de la escuela, donde se ha recopilado información proveniente de las distintas materias que se han impartido a lo largo del máster y la carrera previa. Esta primera página mencionada es una gran fuente de información, la cual contiene cientos de artículos científicos publicados. Por tanto, lo primero que se comentará es el cómo se ha procedido a la búsqueda y filtrado de tantísima información. Cabe mencionar que esta no es la única plataforma donde hay publicados artículos de esta índole, ya que existen otras también muy útiles, como pudiera haber sido la plataforma de Google Scholar. Finalmente se seleccionó la mencionada ya que gracias a la US se podía navegar y descargar artículos sin ningún tipo de problema.

Por tanto, para seleccionar la bibliografía para este trabajo, se ha seguido un procedimiento: lo primero de todo, se ha seleccionado un tema a estudiar (que para este caso es, tal y como indica el título del trabajo, la revisión de las aplicaciones de energía solar para los procesos industriales), seguidamente se ha seleccionado una base de dato de la cual nutrirse (Scienedirect), se han seleccionado unos objetivos y una metodología para alcanzar estos mismos (los objetivos serían encontrar una relación de documentos dentro de la base de datos óptima para alcanzar nuestro fin) y por último, una vez realizado todo el proceso, obtener una obtención de resultados a raíz del análisis de toda la bibliografía.

Una vez dentro de la web, se ha necesitado hacer una búsqueda y un filtrado de información. Para ello, la palabra clave (key word) que se ha utilizado, sobre todo, ha sido: “SHIP plants”, pero para indagar más, también se han utilizado SHIP + CSP y SHIP + TES. Una vez realizado esta búsqueda se le aplicó a todo esto el primer filtro,

que es el de la fecha de la publicación, ya que se quería un análisis actualizado, por tanto, se seleccionó como mínimo que fueran publicaciones del 2010. Además, como segundo filtro utilizado, hemos filtrado sólo los artículos que fueran revisión ya realizado (review articles). Una vez realizados estos filtros, la cantidad de artículos que podíamos encontrar dentro de la plataforma eran un total de 3.719, distribuyéndose de la manera que indica la figura 15:

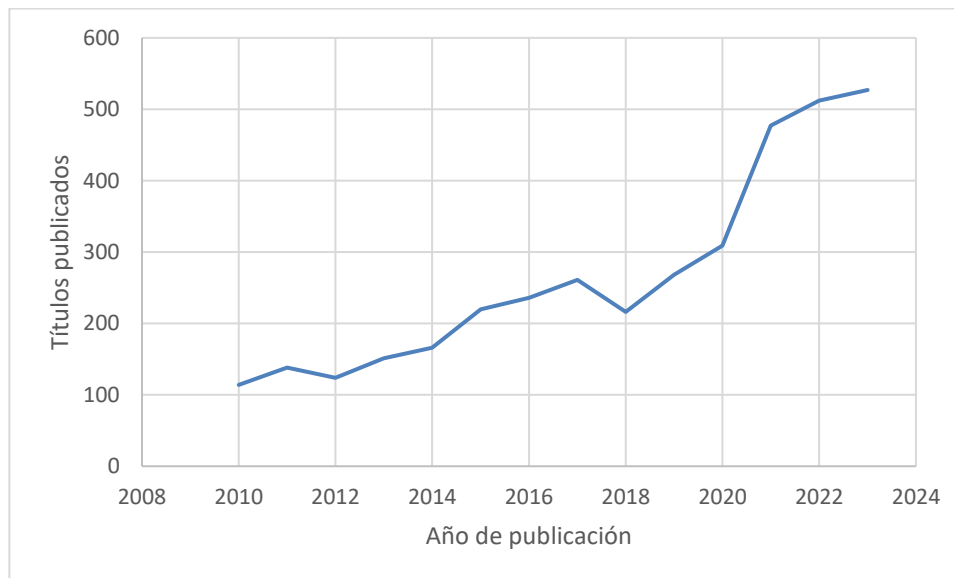


Figura 15: Evolución de las publicaciones desde 2010. [20]

Como se puede apreciar, desde 2010 la evolución (sin contar dos años que han tenido un leve descenso) ha sido siempre de manera ascendente. Algo remarcable de estos datos mostrados es que este año (año 2023), en cuanto a publicaciones, ya ha superado al año pasado aun quedando varios meses para cerrar el año. Otro dato que comentar es el gran repunte que hubo de publicaciones en los años 2020 y 2021, años después de la pandemia de COVID-19.

Seguidamente, como filtro de tipo de artículo ya se ha mencionado que se ha filtrado por artículos que fueran una revisión de otros para así, que la información estuviera lo más compacta y simplificada posible dentro de toda la cantidad de artículos. Si no se hubiera preseleccionado este filtro, la cantidad de artículos disponibles serían de más de 30.000.

Tras conocer la cantidad de documentos publicados según los términos comentados, se podría conocer también las áreas de estudio de las cuales han salido estos artículos:

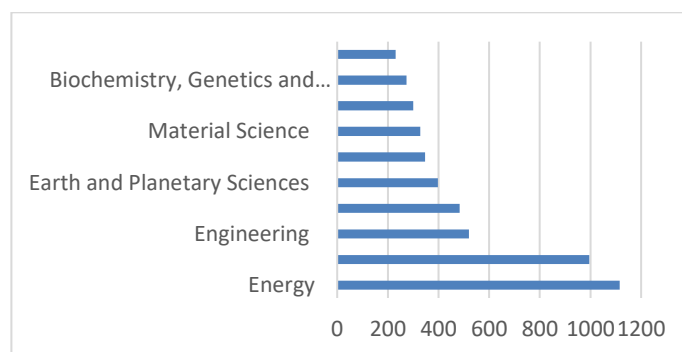


Figura 16: Áreas de estudio de los documentos. [20]

Esta figura 16 es interesante, ya que así se puede demostrar que este análisis no es solo para un ámbito concreto, sino que es muy polivalente, ya que una instalación de las características que se analiza en este trabajo puede ser interesante para diversas áreas de trabajo. No hay que dejarse engañar por la gráfica, ya que, si sumamos todos los números, este supera el número total de artículos mencionados arriba. Esto se debe a que hay artículos que

son aplicables a distintas áreas de estudios, por eso que el número sea superior.

Otro de los datos a remarcar de los artículos contenidos dentro de esta web sería el título que le dan a las investigaciones que tienen que ver con estas instalaciones. Esta clasificación se podría ver en la figura 17:

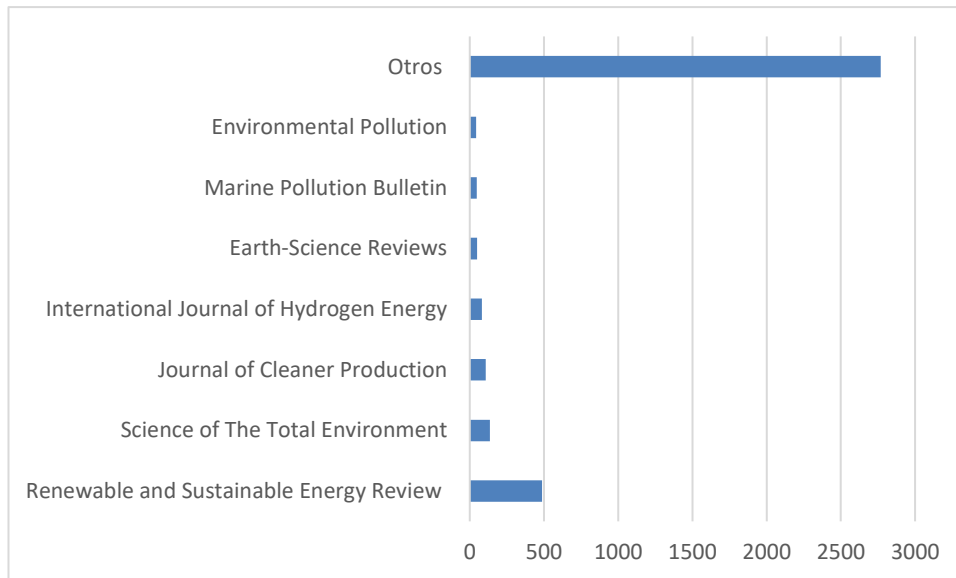


Figura 17: Títulos más comunes de las publicaciones. [20]

Como bien se puede apreciar, prácticamente los títulos más utilizados contienen las palabras “renovable”, “medioambiente” o “energía”. Esto se debe a que, al fin y al cabo, toda la documentación está relacionada con la energía termosolar, que es de carácter renovable y verde.

Este análisis podría realizarse de una manera más profunda, como clasificando en qué países se han estudiado más estos temas o desde qué entidades se realizan estos estudios, pero esto es algo que se podría dejar para un análisis de más profundidad de este tema.

Seguidamente, se podrá ver un pequeño resumen de los artículos/documentos más interesantes que se han utilizado para la realización de este estudio, prácticamente todos obtenidos de la web mencionada al comienzo del subapartado.

1.7.1 Solar process heat in industrial systems. A global review (2018)

Ya desde el comienzo de este artículo, los investigadores nos dejan claro que la tendencia de producción y consumo hoy en día en todo el mundo se está volviendo algo insostenible, ya que las emisiones que se están inyectando en la atmósfera proveniente de muchos ámbitos (industria, sobre todo) están sobrepasando límites que no debería, tanto los países desarrollados como los que están en vías de estarlo. Teniendo cada uno una manera distinta de desarrollo y política.

Por tanto, relacionado con este problema, se remarca la energía solar térmica como una buena opción para mitigar estos problemas de emisiones, comentando los lugares donde es más factible la instalación de una planta de este tipo, impulsando la producción de la industria a un futuro más verde y saludable para todo el que nos rodea garantizando una producción igual a la actual.

Para ello, desde el comienzo del artículo se ofrece una descripción general de la importancia que tiene el calor de proceso solar para los sectores industriales. Acto seguido, en la segunda parte del artículo, analizando la literatura interna del propio, trata de identificar los sectores potenciales a los que se le podría acoplar estos sistemas de producción de calor solar. Seguidamente a esto, los autores nos muestran unas breves definiciones de qué son las energías solares térmicas y el calor de proceso industrial solar.

Para remarcar los distintos tipos de captadores solares, se hace una breve descripción de cada uno de los tipos, para que así se pueda apreciar la distinción entre uno y otro. Del mismo modo, se muestran una gran cantidad

de procesos industriales con sus temperaturas de trabajo asociadas, esto mismo se muestra para que se pueda apreciar a qué proceso industrial poder acoplar cada uno de los distintos captadores que se han mostrado con anterioridad, cosa que se vería tras de esto, ya que también nos dan unos criterios de selección de tipo de captador. Las secciones finales de este artículo se basan en la comparación de investigaciones potenciales existentes en los distintos procesos industriales.

1.7.2 Mainstreaming commercial CSP systems (2019): A technology review

Para este artículo analizado, la información que se ha usado es básicamente complementaria a las demás, ya que ha sido información para apoyar otros estudios realizados por otros autores.

Para comenzar, el artículo trata de las plantas comerciales de tecnología CSP, de su tecnología actual y la capacidad que poseen (punto que realmente no refuerza el trabajo, ya que este estudio se ha basado en las plantas solares aplicadas a la industria y no a la producción de energía). Aun así, plantea en primer lugar el contexto general de estos tipos de plantas: desde cómo comenzaron, algunos de los beneficios básicos que tiene, la potencia que tienen o pueden llegar a tener algunas de las plantas que hay instaladas y ciertos tipos de instalaciones de tipo concentración (tipos de tecnologías). Esto conduce a que para una instalación del tipo “generación de energía” la mejor opción de configuración es con un sistema de captación de energía CSP con un almacenamiento de energía acoplado (TES).

Seguidamente, también se comentan las distintas configuraciones que podrían tener los sistemas de almacenamiento de energía TES y de los distintos tipos de fluidos termodinámicos (HTF) que se pueden usar para este fin.

Para finalizar se analizan según distintos estudios los costes que tendrían plantas de estos tipos y las sales fundidas que hay de tipo comercial aplicado a todo esto. Cosa que tampoco se ha analizado para este trabajo aunque sea muy interesante.

1.7.3 Global advancement of solar thermal energy technologies for industrial process heat and its future prospects (219): A review

En este artículo, tal y como indica el propio título, trata de los avances globales de la tecnología solar térmica para procesos industriales y sus futuras perspectivas datadas al año 2019.

El artículo comienza con la idea básica que tienen casi todos los artículos relacionados a este estudio, la cual, es que la energía es esencial tanto para el desarrollo, la modernización y el crecimiento económico para cualquier nación. Una aplicación a nivel global de la energía solar térmica es la iniciativa más fuerte que hay para construir un mundo energético sostenible y sin emisiones de carbono, dentro de esta tecnología se sitúan los captadores solares térmicos como la alternativa prometedora a los combustibles fósiles en el sector industrial a la hora de generar calor de proceso, todo ello debido a su seguridad energética, viabilidad económica y beneficios medioambientales.

En este artículo se realiza una clasificación de los sistemas de calor de proceso industrial según las tecnologías de captadores solares y las temperaturas de demanda que tienen los procesos asociados. Estas clasificaciones que se realizan son válidas para todos los países que tengan condiciones similares, tanto climáticas como económicas.

Además, como material o información suplementaria, se describen las perspectivas futuras de integrar calor solar en una industria de Pakistán para un sistema energético sostenible.

El objetivo de este artículo es discutir el avance global de la energía solar térmica y los captadores solares, además del rango de la temperatura y los requisitos de calor para las distintas aplicaciones industriales, con sus procesos asociados. En este artículo también se identifican y estudian los procesos industriales más utilizados donde se integran sistemas solares de calentamiento de procesos industriales.

1.7.4 Latest developments on TES and CSP technologies (2020): Energy and environmental issues, application, and research trends.

Para este otro artículo analizado, tal y como se ha analizado y explicado a través de otros artículos, deja remarcado también que en las últimas décadas en lo alto del planeta se ha producido un incremento considerable del consumo energético en distintos sectores y de diversas maneras debido, en gran parte, al crecimiento demográfico. Se centran los estudios previos a este artículo en que la mayoría de las industrias se apoyan en los combustibles fósiles y este hecho no ayuda para la búsqueda de cumplir objetivos como los marcados en el protocolo de Kioto, por ejemplo. Por estos motivos, las tecnologías renovables se sitúan como una pieza fundamental en la búsqueda de un planeta sostenible, ya que estas se presentan como fuentes de energía limpias, gratis y abundantes, entre otras cosas. Sin embargo, tienen también sus cosas desfavorables, como pueden ser: su dependencia al clima y su carácter intermitente, por lo que muchos científicos la califican como difícil de confiar en ellas para una dependencia. Para enfrentar el problema de la dependencia y la intermitencia, nacen los sistemas de almacenamientos de energía (TES), intentando que haya una demanda acorde a su producción a lo largo del día.

Estas técnicas TES están, actualmente implementadas en proyectos de captadores CSP que están operativos o en plantas que están aún en desarrollo. Esta energía/calor almacenado, como analiza en el artículo, puede ser de diversos tipos: calor sensible, calor latente, calor térmico, etc. Explicando con ellos, sus beneficios, cómo obtenerlos, sus desarrollos, etc.

En general, este artículo, presenta una actualización completa de las tecnologías TES, centrándose particularmente, en la tecnología TES que utilizan los captadores solares CSP.

1.7.5 Solar for industrial process heat: a review of technologies, analysis approaches, and potential applications in the United States (2021).

Para este documento mencionado, lo primero que se remarca es la importancia de todas las empresas de proceder hacia la transición energética para poder preservar cosas como: la conservación de los recursos, la erradicación del cambio climático, la contaminación del aire, etc. Además, menciona que esto es tan sumamente importante debido al peso que tiene el sector industrial tanto en el país donde vivimos como en el mundo en general, ya que los países tienen en común un tercio de todo el consumo energético enfocado en este sector y, además, una cuarta parte de todas las emisiones de gases de efecto invernadero vienen provocado por esto mismo.

Siendo el IPH el denominado calor de proceso industrial, este mismo, constituye la mayor parte del uso de la energía en la fabricación dentro de los estados unidos y depende, en su gran mayoría, de la quema de combustibles. Con estos datos que se muestran en este artículo, lo que se quiere mostrar es la gran potencialidad que tiene dentro del sector renovable con esos datos tan gruesos.

Seguidamente, se comenta la tecnología de energía solar para procesos industriales (SHIPS) puede ser muy prometedora, ya que actualmente hay tecnologías maduras como podrían ser la tecnología solar, fotovoltaica o híbrida, las cuales tienen un abanico bastante amplio de uso según temperaturas (abarcan desde los 60°C hasta los 250°C), a los cuales, si se quisiera, se le podrían acoplar unos sistemas de almacenamiento para maximizar su producción o energía aportada al proceso para así hacer frente al problema previamente mencionado y desplazar el uso de los combustibles.

Varios investigadores comentan los beneficios de acoplar estos sistemas solares al sector industrial ya que este mismo, en los últimos años ha tenido un consumo que no ha parado de crecer, llegando a mencionar que para 2050 habrá un aumento del sector industrial de hasta el 50%.

Algunos de los inconvenientes que se conocen, de la implementación de esta tecnología a las industrias podrían ser: determinar el potencial técnico y económico de sistemas SHIP debido a la falta del conocimiento de la demanda de calor total de las industrias y la falta de datos de energía industrial. Además, sin contar, de la falta de confianza aún de algunos sectores hacia este tipo de tecnologías.

1.7.6 A Solar for industrial process heat: a review of technologies, analysis approaches, and potential applications in the United States (2021).

Un dato importantísimo adicional que mencionan los escritores de este artículo al comienzo de este sobre el aumento de la demanda energética en general en el mundo, ésta está creciendo debido también al auge de la urbanización y de la mejora del estilo de vida de las personas. Presentan datos de interés como que, más del 80% de la generación de energía primaria viene de los combustibles fósiles y de ese porcentaje, casi un 30 viene directamente de la quema de carbón o de sus sucedáneos. Muchos científicos piensan/esperan que a partir del 2030, en el planeta haya a producción del 57% de la energía primaria total obtenida de fuentes de energías renovables y para 2050 del 86.

Posteriormente, muestran la diferencia entre las técnicas solares activas y pasivas, dejando remarcado que, en la que más se centra este trabajo es en las tecnologías activas, que son las que envuelven a las tecnologías fotovoltaica (FV) y de concentración solar (CSP), siguiendo del porcentaje que aportarán estas mismas en la sociedad de aquí a 2050 según la hoja de ruta IRENA.

Se explica el funcionamiento de ambas técnicas de captación, tanto de FV como de CSP, explicada esta última por Ozalp et al. donde hace una revisión de esta misma de donde se puede llegar a comprender bastantes cosas de esta tecnología.

1.7.7 A Solar for industrial process heat: a review of technologies, analysis approaches, and potential applications in the United States (2021).

Según los investigadores que han realizado este trabajo, lo que se puede desgranar de este mismo podría ser lo siguiente: como conclusión, se podría decir que la utilización de energía renovable no solo mitiga los niveles de gases invernadero, sino que también garantiza la producción y consumo de energía sostenible (conclusión muy habitual en todos los artículos que se han analizado en este trabajo). Aun teniendo un incremento notable año tras año los niveles de las energías renovables utilizadas en todo el mundo, seguimos teniendo necesidad de que esta cuota siga en alza, ya que las emisiones de CO_2 siguen también en alza y estas son debidas a la quema de combustibles: carbón en su mayoría, gas natural y petróleo.

Los redactores llegan a la conclusión de que el movimiento de transición energética hacia maneras de generación de energía renovables es cada vez más importante en todo el mundo llegando a analizar distintas maneras de la generación de esta, como podría ser: de manera geotérmica mejorada, células fotovoltaicas, etc. Se comenta que una mejora de estas maneras de obtener energías renovables no solo traería un aumento de las acciones de energías renovables, sino que, además, podría contribuir a una mejora en la salud y bienestar de su población.

Esta utilización de energías renovables beneficiaría a la mayoría de los países que son vulnerables a los impactos de los cambios climáticos y se sabe que la mayoría de los países del medio oriente se encuentran entre los principales productores de derivados del petróleo (incluido Omán). Por este motivo, estos países del golfo están diversificando sus fuentes de obtención de energía a través de la inversión en renovables.

A partir de aquí, los investigadores concluyen en los beneficios de implantar un sistema de captación de energía acoplado a una industria en estos lugares poniendo el ejemplo de la planta de Masdar en Oman exponiendo los beneficios en cuanto a energía solar recibida a lo largo del año, entre otras ventajas que tendría, además de reflejar otras barreras a las que se enfrenta esta energía. Como podría ser la barrera política en este país, pero esa información no sería adaptable a este análisis.

1.7.8 Thermal energy storage systems for concentrating solar power plants (2021)

Este artículo, nuevamente trata, como menciona el título en almacenamiento de energía en plantas de concentración de energía solar. Este segundo ha servido para afianzar y profundizar en los conocimientos de los sistemas de almacenamiento en sistemas como los que estamos analizando.

Este comienza con un primer capítulo introductorio, el cual, proporciona un estudio del estado del arte, los desarrollos actuales y las perspectivas que tiene esta tecnología de almacenamiento de energía en sistemas CSP. Las conclusiones o ideas generales para remarcar en este capítulo es que la controlabilidad de esta capacidad de

almacenamiento inherente a las plantas es limitada y que las unidades de almacenamiento térmico son componentes separados destinados a permitir un suministro energético orientado a la demanda de la misma planta. Además de analizar los tres procesos por los que pasa un sistema TES como se tienen comentados y definidos en este estudio.

Otro dato curioso que se desprende de este análisis es que un sistema TES tiene más ventajas de las que piensa la gente, como podría ser: reducción del estrés termodinámico, reducción del proceso de precalentamiento de los componentes, mejoras de la eficiencia de la planta, etc. Sobre estos aspectos no se ha profundizado en el análisis realizado porque queda fuera de su objetivo.

Una vez comentado esto, el artículo sigue definiendo ejemplos de almacenamiento de energía con calor sensible reflejando ciertos proyectos de distintas características. Además, nos muestra los posibles esquemas de como sería un almacenamiento de calor sensible.

1.7.9 Guía de Energía solar Térmica para Procesos Industriales Thermal (Octubre de 2022)

Este documento, con diferencia con respecto a otros, tanto por extensión del mismo como por la información que posee, ha sido el más importante a la hora de realizar este estudio.

Como se puede apreciar en el primer punto de este documento, los objetivos de la guía son algunos como: promover el uso de instalaciones solares térmicas de baja temperatura en procesos industriales, facilitar información necesaria para eliminar las posibles incertidumbres sobre esta tecnología, dar visibilidad a las ventajas que supone una instalación térmica, analizar la viabilidad técnico-económica de las instalaciones, etc.

En la misma introducción de la guía hace ciertos apuntes iniciales, que marcarán los distintos puntos que se van a analizar a lo largo de las 184 páginas que componen el trabajo, que serán algunos como: un análisis tecnológico (donde se pueden ver los aspectos más relevantes de esta tecnología, el recurso solar que posee España a nivel general y algunos de los indicadores claves para el diseño y el dimensionado de la instalación), como es la integración de la energía solar térmica (donde se pueden apreciar las distintas maneras de utilizar esta tecnología en la producción de energía), el consumo de energía térmica y potencial solar (donde muestran distintos ejemplos, según la temperatura de trabajo que tengan algunas instalaciones de ciertos sectores industriales de la cantidad de potencia que se puede generar con estas instalaciones), la identificación de barreras (en este punto se deja bien claro las barreras que tiene esta tecnología, tanto a nivel de mentalidad de las personas de a pie, como a nivel político y medioambiental), un breve análisis de estado actual de la tecnología (donde se dedica a analizar las condiciones de partida para el lanzamiento de una instalación a mercado, ya que vienen definidas por ciertas condiciones), una propuesta de desarrollo (donde a partir de la demanda y el potencial solar que tiene una instalación térmica, se proponen medidas para el desarrollo del mercado de instalaciones solares térmicas en las industrias asociados a los diferentes objetivos y plazos de imputación), también se muestran casos de estudio y ejemplos de instalaciones térmicas reales y, por último, como complemento a la guía se muestra una herramienta de cálculo que permite realizar un dimensionado sencillo y determinar la contribución solar al proceso como una primera aproximación a lo que sería la realidad (aunque este simulador no entre dentro de los objetivos de este análisis)

Como se ha definido en el apartado anterior, como se puede apreciar a simple vista, todo o casi todo el contenido de esta guía tiene relación directa o indirecta con el trabajo que aquí se trata, por tanto, ha sido muy útil.

2 SISTEMAS DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICO EN LA INDUSTRIA

2.1 Introducción a los sistemas de energía solar térmicos.

Durante las últimas décadas ha habido una tendencia hacia la sostenibilidad buscando tecnologías y recursos alternativos que puedan ayudar a satisfacer la demanda cada vez mayor de energía y productos. En cuanto a recursos como el carbón y el crudo, los renovables van a incrementar su participación como materias primas, incluyéndose dentro de estas, la energía solar térmica. Para la industria, como bien es conocido, es muy importante la producción de vapor para generar energía. En este ámbito, la energía geotérmica y la solar térmica son las mejores alternativas para la producción de vapor de manera renovable. Sin embargo, la geotérmica tiene como objetivo el vapor a menor temperatura, dejando a la solar térmica como la tecnología capaz de proporcionar tanto vapor como energía, por tanto, mucho más adaptable a los procesos industriales.

La diversidad de procesos en los que es participe la energía térmica, como ya se ha podido apreciar en el apartado anterior, abre una amplia gama de posibles combinaciones para la creación de un sistema de energía térmica. Estas instalaciones son complejas debido a las diferentes demandas de temperatura, con procesos con distintas disposiciones (bien pueden estar en serie o en paralelo), contemplar la posibilidad de llevar almacenamiento o bien la elección de fluido caloportador. Estos son alguno de los principales parámetros a tener en cuenta a la hora de diseñar un sistema de energía solar térmica.

Por tanto, siendo el propósito de este trabajo el análisis de los sistemas de generación de energía térmicos adaptados a la industria, en este apartado se pretende dar a conocer el conjunto de sistemas que componen estos sistemas actuales para ir desgranando cada uno de los sistemas más importantes e ir explicando su función. Estos procesos están compuestos por diferentes sistemas que cuentan con variedad de elementos que integrados entre sí, conformando así el sistema de energía térmica.

2.2 Tecnologías usadas.

Las tecnologías de calentamiento gracias a la energía solar tienen un funcionamiento sencillo, este consiste en recoger la energía térmica proveniente de la radiación solar y transferirla a un fluido de trabajo (este, como se comentará más adelante, puede ser variable según sus requerimientos). Si este fluido se trata de agua o aire, se podría usar directamente o canalizarse a través de un tanque de almacenamiento. En los sistemas indirectos, el fluido de transferencia de calor pasa a través de un intercambiador de calor para calentar el fluido del proceso en cuestión.

Las tecnologías de calefacción solar se utilizan para proporcionar agua caliente o calefacción (o cualquier otro proceso comentado en el capítulo anterior) en edificios residenciales o en edificios industriales. Para este estudio, nos centraremos en el segundo caso. Aun así, los sistemas usados en ambos casos son similares, siendo diferentes por tres características que mencionaremos a continuación:

- La cantidad de calor requerido en un calentamiento a nivel industrial tendrá unas cantidades mucho mayores que las que se podrían encontrar en el sector residencial.
- Los rangos de trabajo para el calentamiento de los fluidos de trabajo para el sector industrial suelen ser, por lo general, mucho mayores que los que se pueden encontrar a nivel residencial.
- Las necesidades de calor para una industria son, generalmente, continuas. A nivel residencial, como bien es conocido es discontinuo (horario laboral, horario nocturno, etc.)

Las tecnologías producción de calor con procesos solares se puede subdividir en cuatro grandes bloques (aunque podrían ser tres), siendo estos: el bloque de captación, el bloque de almacenamiento (que este puede estar

presente o no, dependiendo del sistema que sea) y el bloque de transferencia del calor, además, está el bloque de distribución. Además, estas tecnologías se pueden dividir también en tres distintos tipos, dependiendo de la función de la aplicación a la que estén destinadas: los secadores solares se aplican a la industria principalmente en procesos relacionados al procesamiento alimenticio y estos sistemas utilizan equipos de circulación de dos tipos: circulación natural o forzada para recoger la radiación solar. Los captadores de calor de procesos se utilizan para proporcionar agua caliente o calefacción de espacios en distintos sectores de la industria como se ha podido ver antes. Por último, también se pueden encontrar tecnologías que proporcionen frío solar.

Antes de pasar a mencionar los distintos componentes, se describen de manera introductoria y resumida los distintos bloques para hacer una primera diferenciación:

- Sistema de captación: sistema principal de este tipo de tecnologías. Es el encargado de captar la energía proveniente del sol y transformarla en energía útil a través de procesos internos para que, posteriormente, pueda ser transportada y utilizada.
- Sistema de distribución: este sistema puede variar en función del fluido caloportador que se use, ya que, al transportar el fluido a través de toda la instalación a una determinada presión y temperatura (que en ocasiones es considerablemente elevada), se deben buscar materiales que se adapten a tales características de resistencia.
- Sistema de almacenamiento: en ocasiones, este sistema es primordial en algunas industrias. El almacenamiento se puede hallar en distintas fases de la operación en la industria, ya que, al ser adaptable, pueden estar en: el sistema de generación, en la red de distribución o en la fase de proceso industrial. El objetivo de este sistema de almacenamiento es mejorar y prolongar la productividad de la industria a la que esté adaptada, sobre todo en instalaciones donde la demanda varíe mucho con el tiempo y se quiera mejorar el rendimiento a carga parcial del generador. El medio de almacenamiento depende también del material y el tipo de almacenamiento que se aplique al sistema. Este sistema se analizará con detenimiento más adelante.
- Sistema de transferencia: para transferir el calor que lleva el fluido de trabajo, se puede trabajar con tres modos básicos de calentamiento, siendo estos: intercambiadores de calor externos al proceso, intercambiadores de calor incorporados al proceso mismo o sistemas de calentamiento directo. [13]

A continuación, se comentarán los distintos componentes de estas tecnologías:

2.2.1 Sistema de captación.

Como ya se ha mencionado antes, estos sistemas de conversión de energía solar en energía térmica son la pieza fundamental de estos sistemas. Estos constan de diferentes elementos, pero el más importante es el sistema de captación, ya que todo el proceso que viene aguas abajo depende directamente de este. El sistema de captación es el encargado de captar la radiación solar incidente y se intenta mediante el tipo de material que se usa, que tenga las menores pérdidas hacia el ambiente para aprovechar al máximo este potencial de energía e inicie así el proceso de conversión.

El principio fundamental de la conversión de la radiación solar a otro tipo de energía útil es simple: el dispositivo capta la radiación y transfiere la energía al fluido de trabajo para que, posteriormente, al trasladarse por el sistema de distribución, llegue a los intercambiadores y se transfiera esta energía y pase a ser útil mediante un proceso de transferencia directa o indirecta.

Dependiendo del nivel térmico que se requiera para el proceso, la configuración de estos sistemas térmicos puede variar. Debido a que la radiación solar disponible (como máximo) es de $1 \frac{kW}{m^2}$ para procesos que tengan asociados una temperatura de trabajo superior a 100°C, será necesario considerar un que tenga unas pérdidas térmicas pequeñas. Para esto último mencionado se puede mitigar con diversos procesos, que pueden ser utilizados juntos, como, por ejemplo, introducir tubos de vacío en el sistema de captación o aumentar la densidad de la radiación que entra mediante tubos de concentración, también se podría utilizar una superficie más absorbente para evitar que salga radiación.

Para el caso de instalaciones donde la temperatura de trabajo asociada sea menor de 80°C, se suelen utilizar captadores planos con superficie negra o selectiva.

Los captadores solares se instalan agrupados en el campo de captadores siguiendo unos patrones preestablecidos

en función de ciertos requisitos y criterios de diseño como pueden ser: la temperatura de trabajo, el rendimiento del sistema de captación, el coste del sistema de transporte o el coste de funcionamiento de la bomba de circulación.

Para la caracterización térmica del campo de captadores habría que saber previamente cómo se agrupan estos. Los datos de partida suelen ser los resultados del ensayo del captador solar: parámetros de la recta o curva de rendimiento, caudal específico del ensayo y un parámetro denominado K_{50} . Estos tres parámetros mencionados son los parámetros que definirán el funcionamiento del sistema de captación una vez esté en funcionamiento.

Uno de los objetivos de este subapartado es conocer las diferentes configuraciones, que se expondrán a continuación, de un campo de captadores, identificando las ventajas e inconvenientes de cada una.

Por tanto, de las configuraciones podemos decir que la agrupación de captadores se establece fundamentalmente según la temperatura de salida del campo de captadores. Tal temperatura debe ser compatible con una influencia mínima en el rendimiento del campo de captadores y optimizando el coste de la red de transporte.

La agrupación de captadores influye en la temperatura de salida del fluido y en el caudal que circula a través del circuito. La temperatura de salida es uno de los factores que influirá en el rendimiento del sistema y el caudal influye sobre todo al coste del circuito (debido a los costes asociados con los distintos componentes del sistema: bombas, tuberías, aislamiento y accesorios restantes).

Con esto mencionado, se podría decir que existen tres configuraciones básicas para el campo de captadores:

- Agrupaciones en paralelo.

En la agrupación en paralelo todos los captadores trabajan prácticamente en las mismas condiciones. La temperatura de entrada del fluido, el salto de temperatura que se produce en los captadores y el rendimiento de cada uno de los captadores son todos iguales. La pérdida de carga del campo de captadores es la de un captador y el caudal de la bomba es el caudal en un captador por el número de captadores que haya en el sistema instalado.

Para poder ver visualmente cómo sería un sistema de esta configuración, se muestra a continuación la figura 18:

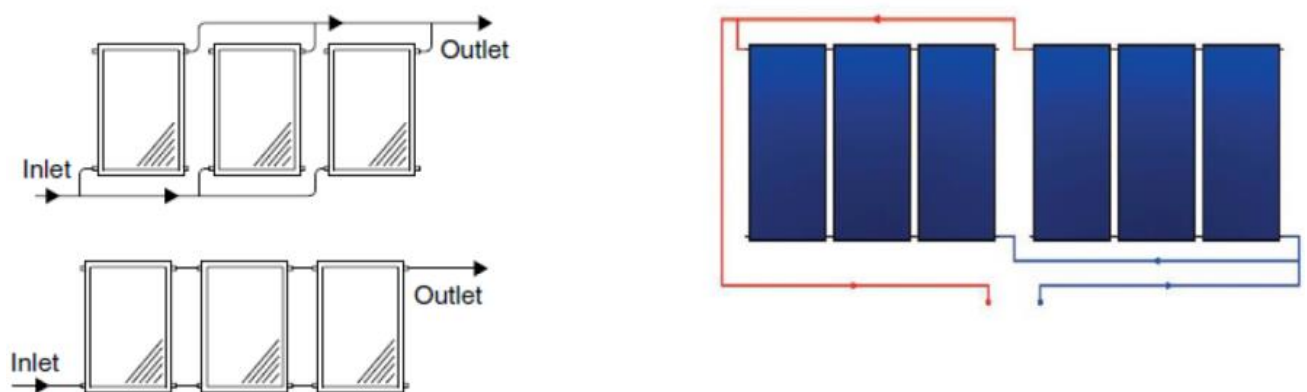


Figura 18: Sistema de captación en paralelo. [17]

Como se puede apreciar en la figura anterior, el agua o el fluido de trabajo, entra en el mismo nivel en todos los captadores, por tanto, la temperatura de entrada será igual en todos.

- Agrupación en serie.

En la agrupación en serie, por el contrario, aumenta la temperatura final de salida del campo de captadores. Las condiciones de operación de los captadores son diferentes en cada uno de ellos, ya que la temperatura de entrada del fluido en cada uno de los captadores será distinta a la anterior. En este caso, el rendimiento de cada uno de los captadores será menor que en el caso anterior, haciendo que el rendimiento total del sistema sea menor que en el del caso anterior. Por el contrario, la temperatura de salida con esta configuración será mayor que en el caso anterior.

La pérdida de carga del campo en estos sistemas se podría calcular como la pérdida de uno de los captadores de

manera individual multiplicada por el número total de captadores que hay en el sistema (por tanto, acabará siendo también mayor que la del caso anterior) y el caudal que circula por la bomba del circuito es el caudal que circulará a través de uno de los captadores.

Al igual que con el caso anterior, se muestra en la figura 19, como sería un sistema de estas características:

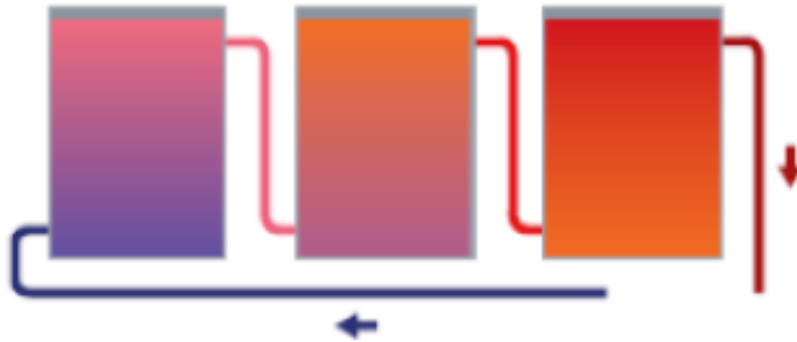


Figura 19: Sistema de captación en serie. [17]

A diferencia que en la figura 18, la salida de un captador está conectada con la entrada del siguiente captador para aumentar así la temperatura final de salida.

- Agrupación en serie-paralelo.

Esta última configuración aprovecha las ventajas de las dos configuraciones y tiene la siguiente representación:

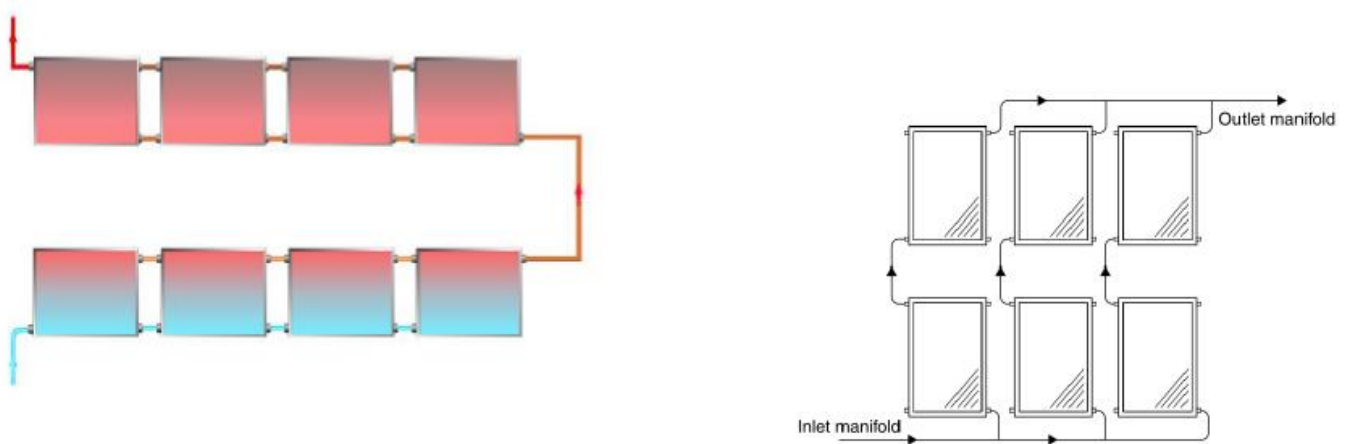


Figura 20: Sistema de captación en serie-paralelo. [17]

Como se aprecia en la figura 20, tiene elementos de las dos combinaciones combinadas.

Antes de cerrar este apartado, cabe mencionar que las agrupaciones en paralelo o en serie-paralelo deben trabajar ambas con el mismo caudal en cada una de las líneas en paralelo para no penalizar el rendimiento de captación que tenga el sistema.

Para equilibrar el campo de captadores se debe diseñar un sistema de retorno invertido y/o se incorporan diversas válvulas de equilibrado en las líneas en paralelo (podemos apreciarlo en la siguiente figura 21). Estas válvulas que se han mencionado permiten equilibrar líneas en paralelo con diferente número de captadores. Tal retorno diseñado puede ser de dos formas: retorno directo o retorno invertido.

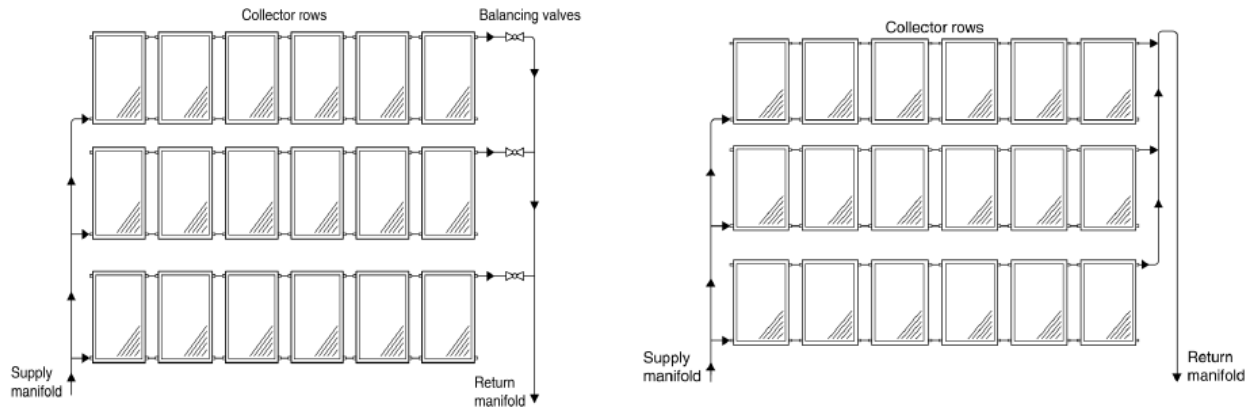


Figura 21: Retorno directo a la derecha y de un retorno invertido a la izquierda. [17]

Los tipos de captadores más utilizados son los que se mencionan a continuación:

- Captador de placa plana:

El captador de placa plana (Flat plate) transforma la energía solar en energía térmica empleando un panel compuesto por una superficie acristalada que permite el paso de la radiación solar hasta incidir y ser absorbida por la superficie de la placa absorbente. La energía térmica después de ser interceptada en la placa se transfiere al interior de los tubos, por donde se transfiere al interior de los tubos por donde circula el fluido caloportador, para finalmente, pasar a un sistema de almacenamiento o usarse de manera directa. La pérdida de calor del sistema se reduce utilizando aislante térmico en la parte inferior y lateral de la carcasa. Asimismo, la cubierta de vidrio cumple la función de minimizar las pérdidas de calor por convección y radiación emitida desde la placa absorbente. Estos tipos de captadores tienen la particularidad de aprovechar la radiación solar directa y difusa, sin embargo, por ser estacionarios reciben menos energía por unidad de área del captador.

Estos dispositivos actúan en un intervalo de temperatura por debajo de los 100° C y, por tener una estructura simple a comparación con los otros tipos de captador, poseen un bajo coste de mercado.

Los captadores de placa plana se clasifican en dos grupos: con superficie absorbente descubierta y cubierta. Las diferentes configuraciones existentes pretenden obtener una mayor eficiencia y durabilidad, así como una disminución del coste de construcción y mantenimiento.

Los captadores solares sin cubierta representan los sistemas de calentamiento de aire más simples y de menor coste de construcción. Aunque tienen pérdidas ópticas mínimas por no disponer de cubierta transparente, presentan elevadas pérdidas térmicas por convección al estar la superficie absorbente expuesta al aire directamente, siendo estas mayores conforme aumenta la temperatura de trabajo.

No obstante, pueden resultar bastante apropiados para aplicaciones en las que requieren elevaciones de temperaturas muy bajas respecto a la temperatura de ambiente (gradiente de temperatura menores a 10° C). De esta forma, su simplicidad y bajo coste pueden compensar su utilización, aun teniendo menor rendimiento que otros dispositivos.

Para mejorar la eficiencia de los anteriores, se han diseñado distintos captadores que incorporan una o dos cubiertas sobre y paralelamente a la superficie absorbente, consiguiendo así reducir las pérdidas por convección y las pérdidas por emisión de radiación de onda larga de la placa absorbente y proporcionar una protección a los elementos ubicados por debajo de la cubierta.

En general, se puede decir que los captadores solares planos con superficie absorbente cubierta presentan un mayor rendimiento que los sistemas sin cubierta en procesos con moderadas elevaciones de temperatura. Sin embargo, habitualmente, tienen costes de construcción y mantenimiento mayores.

Los incrementos de temperatura alcanzados por estos tipos de captadores, a diferencia de los sin cubierta ya mencionados, suelen ser de un gradiente de temperatura que está entre los 10° C y los 35° C.

- Captador de tubos de vacío:

Este tipo de captador está formado por hileras paralelas de tubos de vidrio transparente. Cada tubo contiene un

tubo de absorción (en lugar de la placa de absorción convencional) recubierto con pintura selectiva (pintura especial para mejorar la absorptividad de la placa), por donde circula el líquido caloportador.

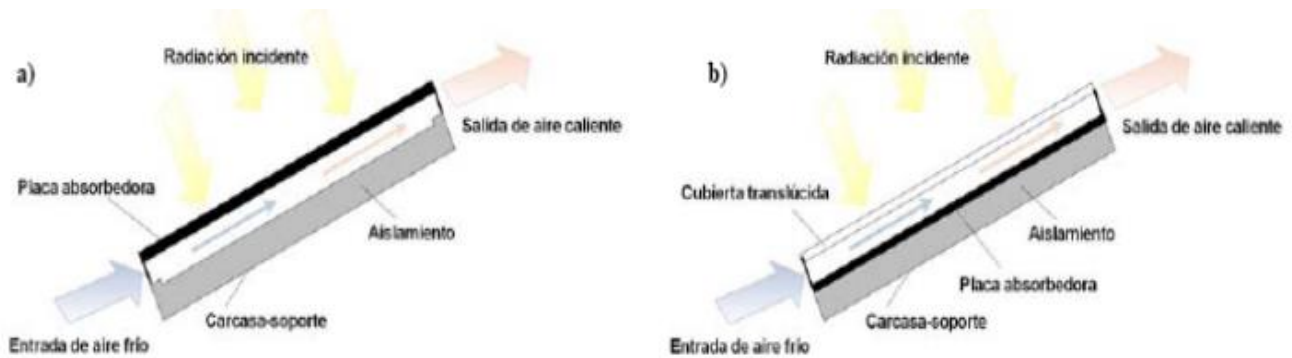


Figura 22: Captador de aire de placa plana: el primero con placa absorbedora descubierta y el segundo con placa absorbedora cubierta.

Cuando se fabrican los tubos de vacío, se extrae el aire que queda dentro del espacio que separa los dos tubos y se hace el vacío, con lo cual, se minimizan las pérdidas de calor por conducción y convección.

En un captador de vacío, la radiación solar atraviesa el tubo exterior de vidrio, incide en el tubo de absorción y se transforma finalmente en energía térmica (calor). El calor se transfiere al líquido que fluye dentro del tubo a través de sus paredes.

Estos tubos de vacío suponen un concepto distinto: se reduce la superficie captadora a cambio de unas pérdidas caloríficas menores. La lámina captadora se coloca dentro de tubos al vacío, por tanto, con unas pérdidas caloríficas despreciables. Estos tubos presentan el mismo aspecto que un tubo fluorescente tradicional, pero de color oscuro. Los paneles se forman con varios de estos tubos montados en una estructura de peine.

Las ventajas de este sistema son su mayor aislamiento (lo que los hace especialmente indicados para climas con un frío adverso, como podrían ser los climas de montaña o muy fríos). También tiene una mayor flexibilidad de colocación, ya que usualmente permite una variación de unos 20° sobre su inclinación ideal sin pérdida de rendimiento. La desventaja es que estos poseen un coste significativamente mayor a los de placa plana.

Estos captadores permiten calentar el agua hasta temperaturas de 110°C , hecho que posibilita la utilización de sistemas de distribución de calor convencionales en aplicaciones de calefacción con agua.

En general, el rendimiento del captador de vacío es superior al del captador plano convencional y, se mantiene más constante ante variaciones en la temperatura ambiente o en la radiación solar incidente.

Existen dos posibles sistemas de captadores con tubos de vacío:

- Los de flujo directo: el fluido circula por los tubos, como se realizarían en los captadores planos.
- Flujo indirecto o Heat pipe: el calor evapora un fluido en el tubo y, este, transmite su energía al condensarse en el extremo.

Una representación de los esquemas de los dos tipos sería la representada en la siguiente figura 23, que como se podrá observar en la imagen, la circulación del fluido térmico junto con la distribución de la temperatura interna del captador será distinta. Además, tampoco tendrán la misma composición, ya que el de tipo heat-pipe se nutre del vapor generado gracias a la radiación absorbida.

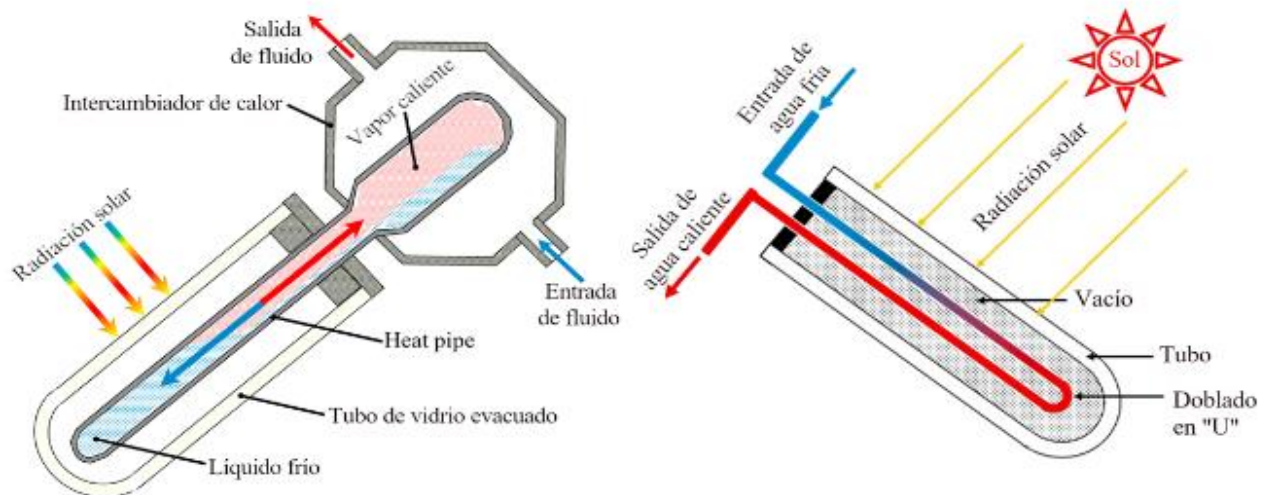


Figura 23: Captadores con tubos del tipo heat pipe a la derecha y los de flujo directo a la derecha. [2]

A continuación, en la figura 24, se muestra cómo sería una instalación de este tipo:



Figura 24: Captador de tubos de vacío.

- Captador lineal Fresnel:

Los captadores lineales de tipo Fresnel están compuestos por dos partes principales: un tubo absorbente estacionario por donde circula el fluido caloportador y una serie de espejos reflectores alineados horizontalmente que se acoplan a un sistema de seguimiento uniaxial. El principio de operación del captador ocurre cuando la radiación solar impacta en los espejos reflectores (curvos o planos) y se direcciona para concentrarse en el tubo absorbente.

Para maximizar la concentración de la energía solar, ciertos diseños optan por instalar un captador CSP sobre la parte superior del receptor o punto focal con el objetivo de redireccionar la radiación solar al tubo absorbente. Una de las ventajas que hacen competitivos estos tipos de captadores con respecto a los CSP es su simple fabricación, implicando así un menor costo de inversión. Sin embargo, las limitaciones ópticas y geométricas como el sombreado y bloqueo entre los espejos disminuyen el grado de eficiencia del captador. En procesos industriales, este tipo de captador puede alcanzar intervalos de temperatura media entre 60° C y 250° C.

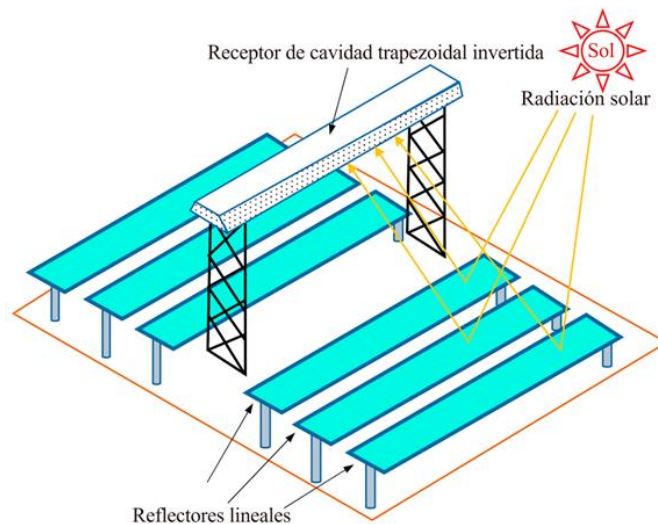


Figura 25: Sistema de captación de tipo Fresnel. [2]

- Captadores cilindroparábolicos:

La primera característica de este tipo de concentradores es que el fluido a alta temperatura mediante espejos concentradores. En la figura 26 se puede ver representado este tipo de captadores.

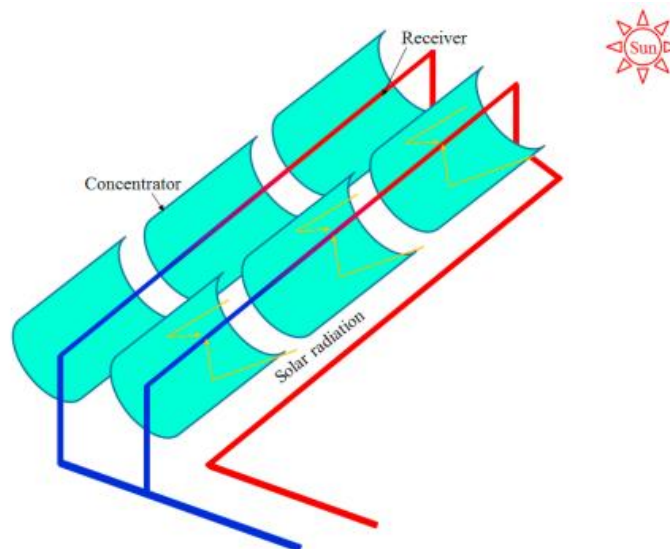


Figura 26: Cilindroparábólico. [2]

Estos captadores disponen de una lámina en forma de parábola que refleja la radiación solar directa y la concentra en el tubo receptor ubicado a lo largo de la línea focal. Por lo general, el tubo absorbente de metal es cubierto de un material selectivo (cobre) que mejora la transferencia de calor al interior del tubo por donde circula el fluido caloportador. Este conducto absorbente es aislado al vacío con un tubo de vidrio para disminuir las pérdidas térmicas por convección a pesar de originarse pérdidas ópticas por efecto de la reflexión. Estos captadores deben de acoplarse a un sistema de seguimiento para alinearse a la trayectoria del sol durante el día.

Los captadores CSP pueden ser de curvatura simple o compuesta y están caracterizados por la más alta concentración permitida para un ángulo de aceptación dado.

En este tipo de captadores concentradores, la razón de concentración queda en función del ángulo de aceptación. Cuanto más pequeño sea el ángulo de aceptación, mayor será la concentración y viceversa. Por razones de diseño propias de este tipo de captadores fijos, los ángulos de aceptación en la práctica deben ser amplios. A medida que el ángulo de aceptación se va haciendo más pequeño, se hace necesario darle orientación al CSP, además de que la altura que debería tener es demasiado grande y, por lo tanto, impráctica. Por otro lado, el que el ángulo de aceptación sea grande, ofrece tres ventajas muy importantes:

- Permite la operación del concentrador por períodos de tiempo extensos sin necesidad de ajustar su orientación.
- Permite la captación y concentración de una porción de la radiación difusa.
- Se reduce el uso de materiales y, por tanto, el coste de CSP.

Este tipo de captadores concentradores pueden ser lineares o circulares, aunque los de primer tipo son potencialmente más útiles.

- Sistemas lineares (disposición cilíndrica): el flujo se calienta al recorrer la línea situada en el foco de la parábola.
- Sistemas puntuales (disposición esférica): con forma de plato, utilizado para concentrar más los rayos y obtener así temperaturas más altas cuando la infraestructura es de dimensiones limitadas.

La orientación del captador se puede configurar en dirección norte-sur con seguimiento u este-oeste para captadores con mayor energía durante el verano, mientras que, si el objetivo es maximizar la energía en invierno la dirección que se debe poner es la que tiene seguimiento norte-sur. Normalmente, en procesos industriales con este tipo de captadores, se suelen emplear módulos de concentración solar con un área de captación menores a 250 m^2 y trabajan a una temperatura media $< 300^\circ \text{ C}$.

- Captador de placa plana evacuado:

El captador de placa plana evacuado combina el diseño del captador de placa plana y el principio del de tubos de vacío. En la siguiente figura número 27 se muestra cómo está compuesto un captador de este tipo:

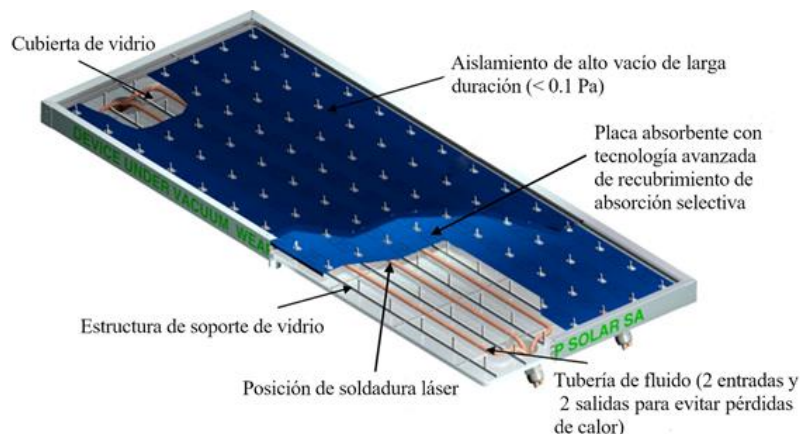


Figura 27: Estructura del captador de placa plana evacuado.

El vacío interior permite alcanzar una mayor eficiencia térmica debido a que se eliminan las pérdidas por conducción y convección. Además, este efecto, hace que el captador ocupe menos superficie que el de tubos de vacío. Con esta tecnología se pueden alcanzar temperaturas medias entre los 120° C y 180° C para satisfacer demandas de calor industrial.

2.2.2 Sistema de distribución.

Para este segundo sistema que se va a mencionar cabe decir que es el responsable de todos los procesos destinados a transportar el calor desde su generación hasta su consumo en cualquiera de los procesos que tenga asociado (en el que se requiera la energía térmica). Estos sistemas dependen directamente del fluido caloportador que lleve en el interior, ya que todos tienen distintas características (viscosidad, densidad, presión, etc.), siendo el más usado a nivel industrial, el vapor. Este último al ser generado a partir de agua, se puede considerar que es un fluido de trabajo abundante y económico.

Cuando se utiliza el vapor, la red de vapor y condensado (vapor que pasa a líquido) son los sistemas más complejos de diseñar debido a las necesidades del proceso. Las características de este vapor deben ser: a la

entrada en el proceso debe ser un vapor seco y saturado y a la salida debería ser condensado, además de estas características, el vapor en sí debe ser limpio y debería de contener la máxima energía posible en la entrada en el sistema de generación. Este sistema de distribución es un sistema algo complejo, ya que tiene ciertos accesorios para que ayuden a su función principal, siendo estos, como, por ejemplo: purgadores, válvulas, etc.

Para que podamos ver una representación visual de un sistema de distribución se muestra la figura 28:

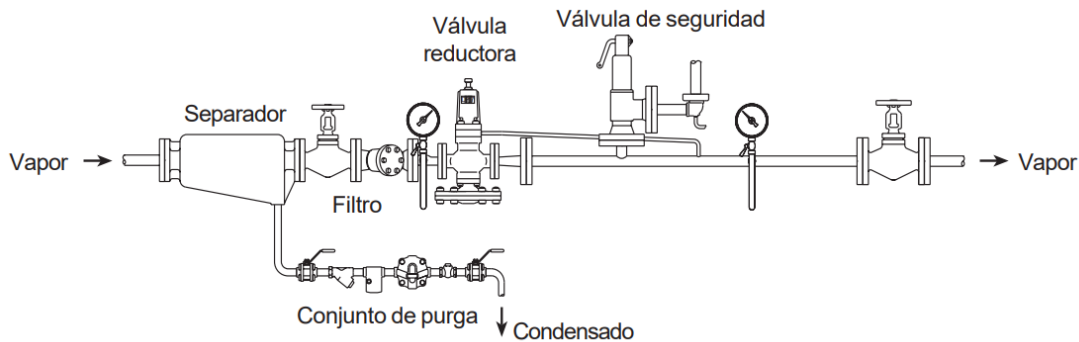


Figura 28: Sistema de distribución de vapor.

Los procesos que utilizan agua como fluido de trabajo tienen ciertas características: son fáciles de operar y de mantener, pero, por otro lado, necesitan unas dimensiones de tuberías con grandes diámetros y grandes superficies de transferencia. En estos casos, si el sistema requiriese temperaturas superiores a 100°C , este sistema necesitaría además un presurizador para poder trabajar adecuadamente. Además del vapor y el agua, también se utilizan los aceites térmicos como medios de transferencia para procesos industriales. Estos, al igual que los otros tienen ciertas ventajas: tienen capacidad de trabajo a presiones más bajas que las del agua para una temperatura dada, sin embargo, tienen un precio más elevado y un calor específico menor.

2.2.3 Sistema de almacenamiento.

En este subapartado se hablará del funcionamiento que posee el sistema de almacenamiento de energía para comprender como, a partir de la energía obtenida el sistema de captación procedente de la irradiación solar, es capaz de obtener una cantidad de energía que, como el nombre del sistema indica, es almacenable para, cuando sea necesario por cualquier motivo, se pueda usar posteriormente. A estos sistemas de almacenamiento se les considera o se les llama también sistemas TES (Thermal Energy System).

Ya que muchas de las tecnologías de carácter renovable son muy dependientes del clima, esto provoca que las plantas o sistemas tengan una producción por vías renovables impredecible. Por tanto, para mitigar este problema, una parte de la energía captada por el sistema de captación se transfieren a través de un fluido de trabajo (HTF: Heat Fluid Transfer), que circulan a través del sistema de distribución y se llevan a una especie de batería térmica, que será nuestro sistema de almacenamiento. Como se verá a continuación este sistema puede ser de diversas maneras.

Para un sistema de captación solar, un sistema TES tiene la virtud de darle un mejor uso de la energía térmica, aportándole la capacidad de expandir las horas de producción que tiene este mismo. Así se podría suplir la demanda energética durante más tiempo o, por otro lado, si fuera una fábrica, tener también más tiempo de producción. Uno de los principales beneficios de los TES es la reducción o eliminación de las fluctuaciones de generación de energía, ya que se consigue trabajar en unas condiciones de generación más estables eliminando esos picos de sobreproducción de los sistemas de captación.

El sistema de almacenamiento TES trabaja cíclicamente, alternando los procesos de carga y descarga, a una diferencia de temperaturas específicas: inicialmente dada por la temperatura inicial del sistema (T_{ini}) y la temperatura del fluido caloportador inicial (T_{inf}).

Su funcionamiento básico consta básicamente de estados:

- El estado de carga: al cargar el sistema, el fluido HTF caliente fluye a través de las tuberías de acero, transfiriéndole la energía térmica al material de almacenamiento transfiriéndole de esta manera la energía térmica incidente en él. Este proceso de carga se terminará cuando la temperatura del sistema alcance temperaturas cercanas a la temperatura del fluido caloportador que está entrando por los tubos. Fijándonos en la figura 29, el flujo de energía térmica se movería desde el sistema de captación hasta el sistema de almacenamiento, teniendo esta temperatura del sistema TES una temperatura menor que la del fluido que sale del campo de colectores, en esta situación $T_{inf} > T_{ini}$.
- Almacenamiento: esta energía que se ha transferido se almacena en el sistema con una mínima pérdida de calor hasta que sea necesitada.
- Estado de descarga: durante la descarga, el flujo del HTF se invierte. Ahora, el HTF frío entra por la parte inferior del sistema de batería, y sale caliente por la parte superior. En este proceso, el sistema de almacenamiento es el que le transfiere la energía térmica al fluido de trabajo debido a que está a mayor temperatura, siendo en estos casos $T_{inf} < T_{ini}$.

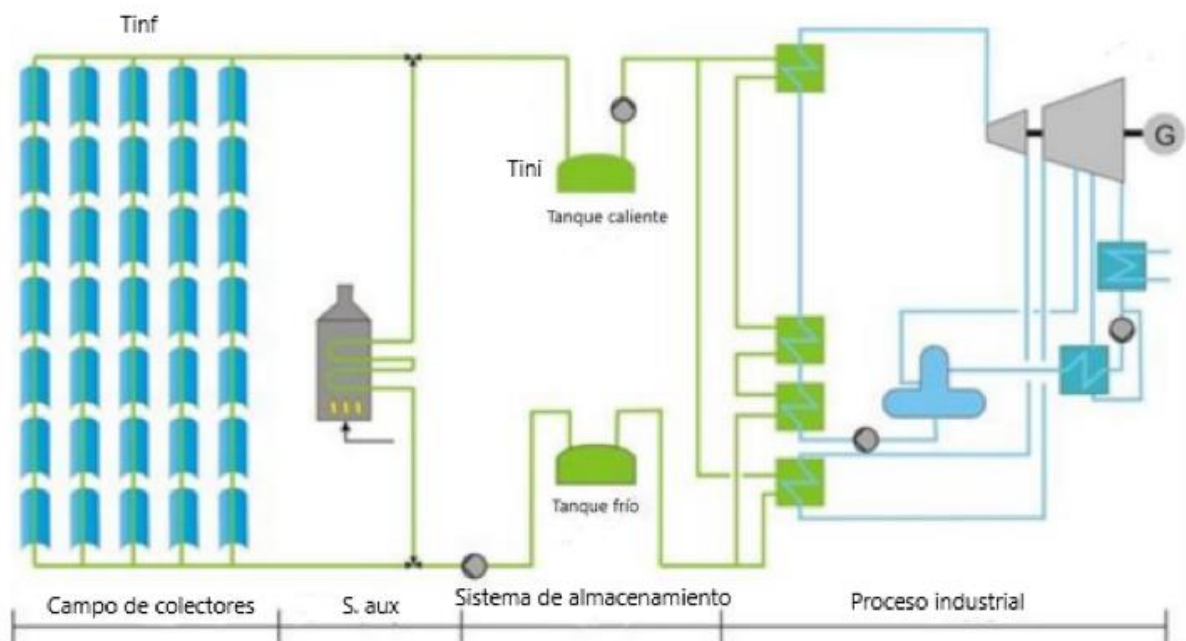


Figura 29: Proceso industrial con TES acoplado. [23]

Estos sistemas de almacenamiento pueden ser de diversos tipos, dependiendo de la manera que tengan de almacenar el calor dentro del sistema. Así, los diferentes tipos se pueden ver representados en la figura 30:

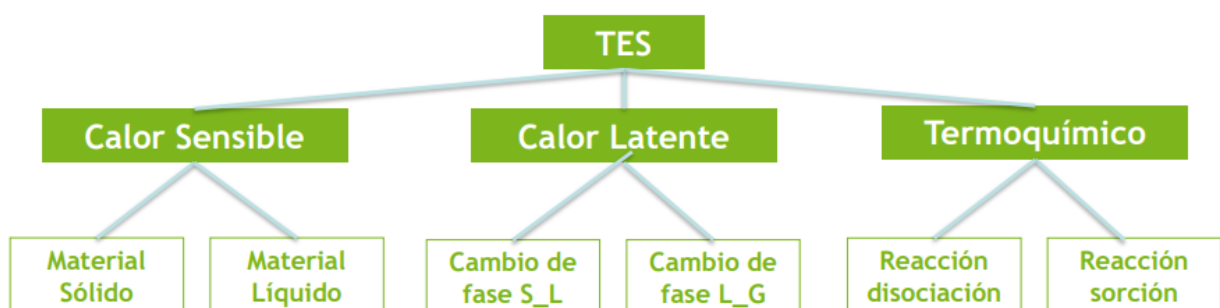


Figura 30: Tipos de almacenamientos de calor según el proceso interno. [22]

Como se aprecia en la figura 30, existen 3 tipos de almacenamientos de energía que, como se verá a continuación, cada uno almacena el calor de una manera distinta.

2.2.3.1 Sistema de almacenamiento de calor sensible.

En cuanto a los sistemas de almacenamiento de calor sensible, el calor se acumula en forma de energía en un material sin ningún cambio de estado a lo largo del proceso. Esta cantidad de energía almacenada dependen de diversos factores: de la masa de material del sistema, la temperatura alcanzada y el calor específico propio del material de construcción. Otras propiedades importantes de este tipo de almacenamiento son: el coste del material, la difusividad, la conductividad térmica y la estabilidad química y termoquímica.

El calor en este tipo de almacenamientos se guarda aproximadamente como se observa en la figura 31:

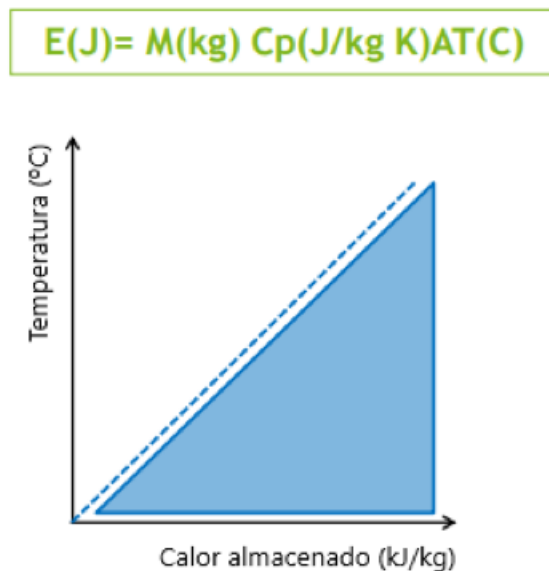


Figura 31: Evolución de la energía almacenado para sistemas de calor sensible. [22]

Como vemos, para este tipo de almacenamiento, la energía almacenada guarda cierto carácter lineal. La cantidad de energía acumulada en forma de calor aumenta linealmente proporcional con la temperatura. Este tipo de transferencia de energía es la que tendrá nuestro sistema de almacenamiento.

Dependiendo del material que se use para el almacenamiento se podrían encontrar sistemas de almacenamiento en estado sólido y en estado líquido. Para los sistemas del primer tipo, unas de sus características son que el rango de almacenamiento puede ser muy grande (llegando desde los 200°C hasta a temperaturas de 1200°C), tienen un coste reducido y una alta conductividad térmica. Para las aplicaciones líquidas se puede mencionar que son las más utilizadas (almacenamiento en sales fundidas), tienen una elevada vida útil (pudiendo llegar a más de 20 años) y tienen una temperatura de funcionamiento alta (alrededor de 560°C).

2.2.3.2 Sistema de almacenamiento de calor latente.

Este segundo tipo de almacenamiento de calor en forma de calor latente, la energía es almacenada mediante un proceso de cambio de fase a temperatura constante. Este proceso va, generalmente, asociado a un cambio de fase sólido-líquido, aunque también puede darse que el cambio se haga de la manera líquido-gas. Los materiales de cambio de fase se clasifican en: compuestos orgánicos, compuestos inorgánicos, eutécticos y mezclas. Estos tipos de compuestos deberán tener su punto de fusión en el rango en el que se encuentra la temperatura operativa.

Los compuestos del tipo orgánico que son usados comúnmente en procesos de almacenamiento de energía son aplicados aquellos que tienen asociados unas temperaturas bajas. Por otro lado, los compuestos inorgánicos son usados en procesos con temperaturas más altas (alrededor de los 400°C).

La energía almacenada en procesos de este tipo puede darse de manera aproximada a la representada en la figura 32.

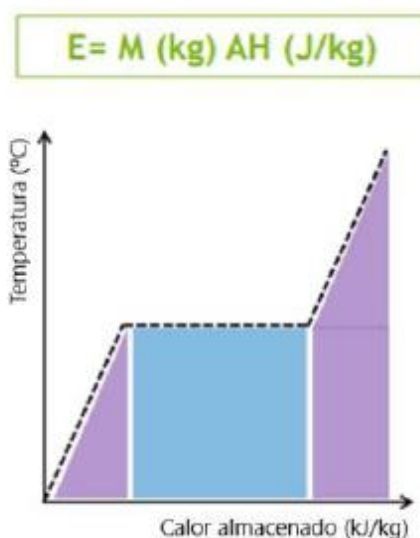


Figura 32: Evolución de la energía almacenado para sistemas de calor latente. [22]

Como se aprecia en la gráfica de la figura 32, cuando se produce el proceso de cambio de fase, la temperatura se mantiene constante hasta que se finaliza el mismo, independientemente del tipo que sea. En este tramo es cuando se almacena o se intercambia la energía en este tipo de compuestos.

Las principales características que poseen estos sistemas de cambio de fase es que presentan un tanto un subenfriamiento muy elevado con una naturaleza muy corrosiva. El subenfriamiento desajusta el sistema cambiando la temperatura de cambio de fase.

Este problema de subenfriamiento puede solucionarse encapsulando el material, de este modo, además de solucionarse el problema, disminuye la erosión y aumenta la superficie y la transferencia de calor. Así mismo tiene una serie de inconvenientes, como pueden ser el de la incompatibilidad del material con la cápsula, la posibilidad de fugas y, además, un incremento en el coste de operación del sistema.

2.2.3.3 Sistema de almacenamiento termoquímico.

Este último tipo de sistemas se basan en un almacenamiento de energía procedente de una reacción química de oxidación de un combustible endotérmico. Estos sistemas, por lo general, requieren unas temperaturas de trabajo más altas para almacenar la energía. Los procesos químicos más comunes en estas tecnologías son las de reacción de oxidación metal-metal.

Estos tipos de sistemas tienen la capacidad de almacenar una fuente de dióxido de carbono, utilizando el exceso de electricidad producida en el campo de energía renovable. Al mismo tiempo, con esa fuente se podría aumentar la potencia neta de salida del sistema integrado.

2.2.4 Sistema de transferencia.

Este último sistema basa su principio en la transferencia de calor hacia el proceso que tiene asociado el conjunto global. Este proceso de transferencia se realiza mediante un equipo de intercambio de calor que pueden ser de tres distintas maneras, según donde estén ubicados (o tres configuraciones): intercambiadores de calor externos al proceso, intercambiadores de calor incorporados al proceso o, por último, sistemas de calentamiento directo.

Además de lo comentado anteriormente de estas tecnologías, los procesos de evaporación y de secado suelen ser frecuentes en muchos de los sectores industriales y suelen incorporar unos intercambiadores internos o externos al equipo.

Por tanto, a continuación, se pasará a describir de una manera resumida, como serían cada uno de estos sistemas:

2.2.4.1 Intercambiadores externos al proceso.

En los intercambiadores de este tipo, es de tipo indirecto, por tanto, no existe un contacto directo entre los fluidos

y nunca llegan a mezclarse. Los fluidos están separados por una barrera sólida (como bien puede ser una pared o un tubo, como se puede apreciar en las siguientes representaciones) y pueden también no coincidir en el mismo instante de tiempo.

En estos intercambiadores se producen tres fases: convección, conducción y, de nuevo, convección.

- Convección: el fluido caliente transfiere su calor a la pared interna del tubo o de la placa que encuentra en su camino.
- Conducción: este fenómeno se produce a través del propio tubo o pared calentado previamente.
- Convección: para este paso final, el calor se transmite desde la parte externa del tubo o de la placa al fluido que tiene menor temperatura.

En este tipo de configuración, los intercambiadores que más son utilizados son los de tipo carcasa y tubo, los compactos (que bien podrían ser o de placa o de espiral) y los de flujo cruzado, que bien podrían llevar incorporadas aletas para mejorar la transferencia de energía térmica a través de él mismo. A continuación, se podrán ver reflejados cada uno de los tipos de intercambiador externos que hemos comentado:

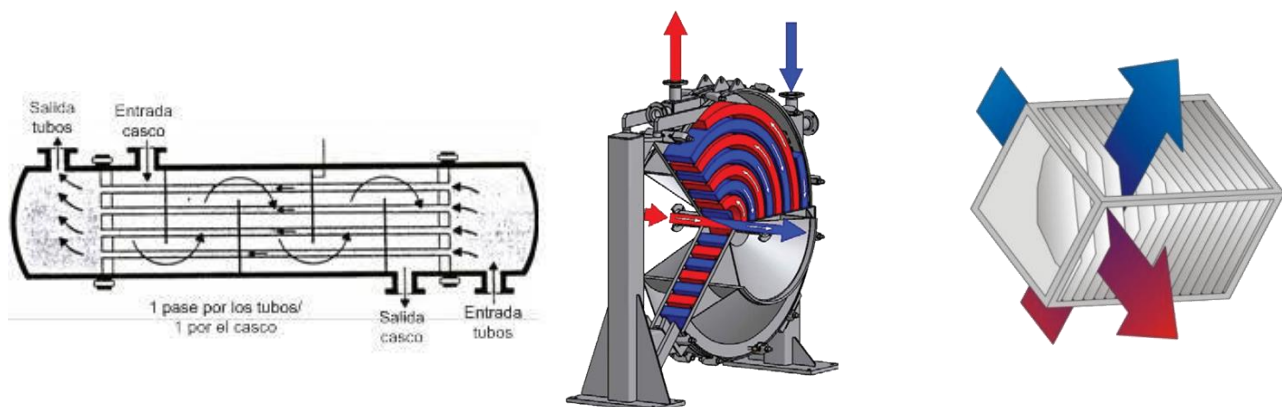


Figura 33: De izquierda a derecha, un intercambiador de carcasa y tubo, un intercambiador compacto de espiral y un intercambiador de flujo cruzado.

Como se puede apreciar en la imagen, cada uno tendrá una disposición distinta con sus ventajas y desventajas independientemente de los demás. Lo común que tienen los tres que se puede apreciar a simple vista es que en ninguno de los casos se mezclan los fluidos.

2.2.4.2 Intercambiadores internos al proceso.

Además de los intercambiadores de calor externos comentados anteriormente, los intercambiadores de calor internos pueden suministrar energía térmica a máquinas, depósitos o baños. Para estos tipos de intercambiadores, los tipos más importantes son las camisas calefactoras, los serpentines calefactores y los haces de tubos.

En los sistemas que llevan incorporados serpentines de calefacción son los tipos de intercambiadores de calor más simples y económicos dentro de estos sistemas. Un tubo está enrollado helicoidalmente alrededor de un cilindro y está equipado con ciertos puertos para la entrada y salida del fluido caloportador. Aunque la capacidad de los serpentines de calefacción se puede ver afectada por el paso y el diámetro de los tubos que lo componen. La tasa de transferencia de calor específica es bastante baja debido al bajo caudal en el exterior del tubo.

Para los llamados intercambiadores con serpentines de panel o placa su construcción es igual a la de los absorbentes de unión por laminación. A menudo se utilizan como elemento calefactor interno o camisa calefactora para calentar recipientes o baños. Según el material utilizado, son posibles presiones de funcionamiento desde 7 hasta 18 bar. Debido al proceso de producción simple, este tipo de intercambiador de calor es muy económico.

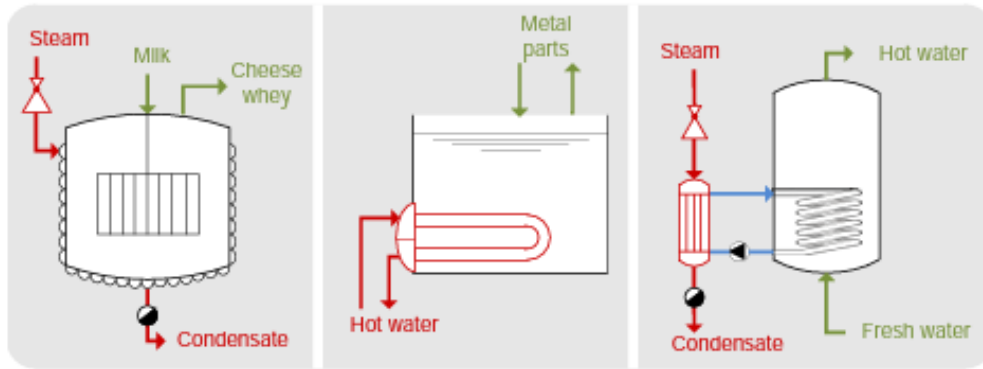


Figura 34: De izquierda a derecha se representan sistemas: con camisa calefactora, haz tubular interno sin carcasa y suministro de agua caliente con serpentín de calefacción interno que se calienta indirectamente mediante vapor mediante un circuito de agua caliente intermedio. [17]

2.2.4.3 Sistemas de calentamiento directo.

Hay dos tipos importantes de sistemas de calentamiento directo: combustión directa e inyección de vapor. Mediante sistemas de combustión directa, la sala de llamas y los conductos de gases de combustión de un quemador de gas se disponen directamente en la instalación a calentar (por ejemplo, baño de agua para la limpieza) y transfieren el calor al producto o medio de proceso.

La inyección directa de vapor se puede utilizar para calentar baños, tanques y corrientes de fluidos o para proporcionar una atmósfera de vapor de aire. El calentamiento directo de baños o recipientes mediante vapor se puede realizar mediante inyección de vapor en el fondo del recipiente/baño utilizando tubos perforados y bobinas o boquillas. Mediante el uso de boquillas, el producto o medio de proceso dentro del recipiente/baño se aspira, se mezcla con vapor y se devuelve al recipiente/baño. Según las propiedades específicas del producto calentado o del medio del proceso, el vapor inyectado debe cumplir con altos estándares.

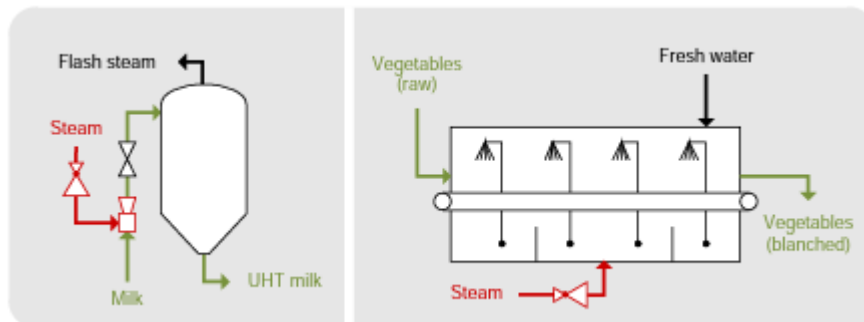


Figura 35: Sistemas directos de combustión directa y de inyección de vapor. [17]

2.2.4.4 Evaporadores y secaderos.

Los evaporadores y secaderos pueden estar equipados con intercambiadores de calor internos o externos y pueden clasificarse dentro de su propio grupo. Dado que a menudo se calientan mediante mecanismos de calentamiento especiales, se pueden considerar separados y no basados en la ubicación del intercambiador de calor.

Para los tipos de evaporadores se pueden clasificar según el mecanismo de evaporación. Los tipos importantes de evaporadores son los rehervidores de caldera, los evaporadores de circulación natural y forzada y los evaporadores de película ascendente y descendente. Principalmente se utilizan evaporadores calentados por vapor continuo, que a menudo se diseñan como sistemas de evaporación de efecto múltiple.

Para el secado, se utilizan una multitud de diferentes tipos de secaderos dentro de la industria que pueden diferir

significativamente en su construcción y modo de operación. Los secadores se clasifican en convectivos, de contacto, de radiación, dieléctricos y de congelación. De estos tipos, los secadores convectivos y de contacto pueden ser alimentados con energía solar térmica, que serían el tipo más interesante para este análisis. Los secadores convectivos utilizan principalmente aire que se calienta para secar productos. Los secadores de contacto utilizan superficies calentadas que están en contacto directo con el producto. Estas superficies, como cilindros, placas o tornillos, se calientan principalmente con vapor.

En la figura 36 se muestran como serían estos tipos de intercambiadores:

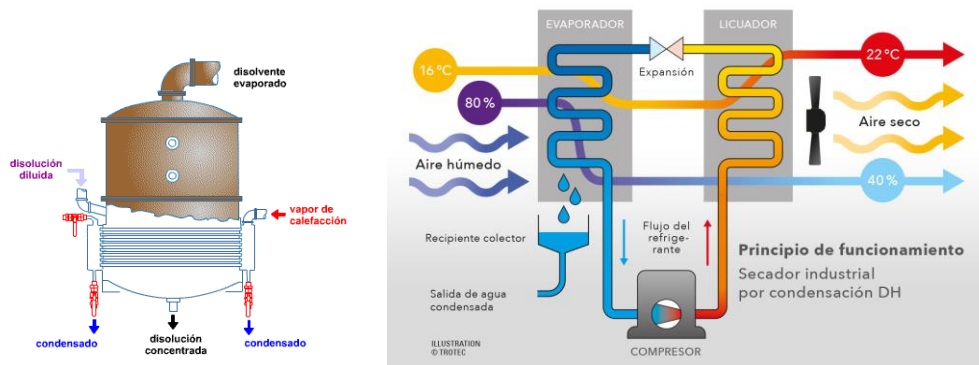


Figura 36: Evaporador y secadero industrial.

2.3 Acoplamiento en los sistemas de generación de vapor e integración de la energía solar en la industria.

Para la integración de una instalación solar térmica en una instalación industrial es necesario conocer los sistemas de generación de calor, de distribución y de transferencia de energía en los distintos procesos diferenciando las temperaturas de cada proceso y la de suministro para poder identificar en qué parte del proceso la conexión supondría la mejor utilización de la energía solar. A continuación, en la figura 37, se puede apreciar un ejemplo de proceso industrial alimentado por un generador de vapor. En el esquema mostrado podremos ver las distintas conexiones existentes dentro de cada uno de los sistemas que componen el proceso industrial.

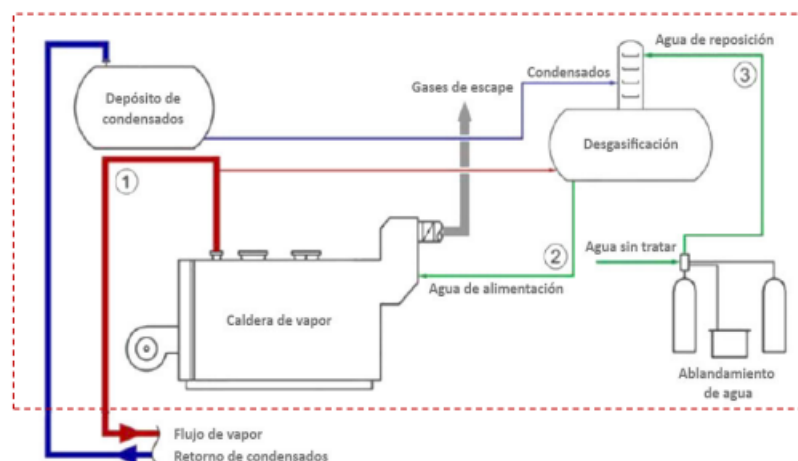


Figura 37: Proceso industrial de producción de vapor. [17]

Para conocer un proceso industrial a la perfección, uno de los parámetros que no se puede dejar nadie interesado detrás son las temperaturas que se quieren estimar en cada uno de los puntos distintos del proceso que se pueden apreciar en la figura anterior.

La temperatura de suministro de calor por el generador convencional suele ser mayor que la temperatura del proceso y, a veces, considerablemente mayor que ella. Cuando se dan estos casos, para favorecer la integración de la instalación solar térmica, es conveniente evaluar las posibilidades de reducir previamente la temperatura del proceso

Para las instalaciones solares de baja temperatura, los acoplamientos que se pueden utilizar son los definidos en los siguientes puntos:

1. En los sistemas de producción de calor como precalentamiento de alimentación al propio generador de calor.
2. En los sistemas de distribución, transferencia o recuperación de calor.
3. Directamente en cada uno de los procesos.

En la figura 38 se podrá ver de una manera representada, cada una de las distintas opciones que se acaban de comentar:

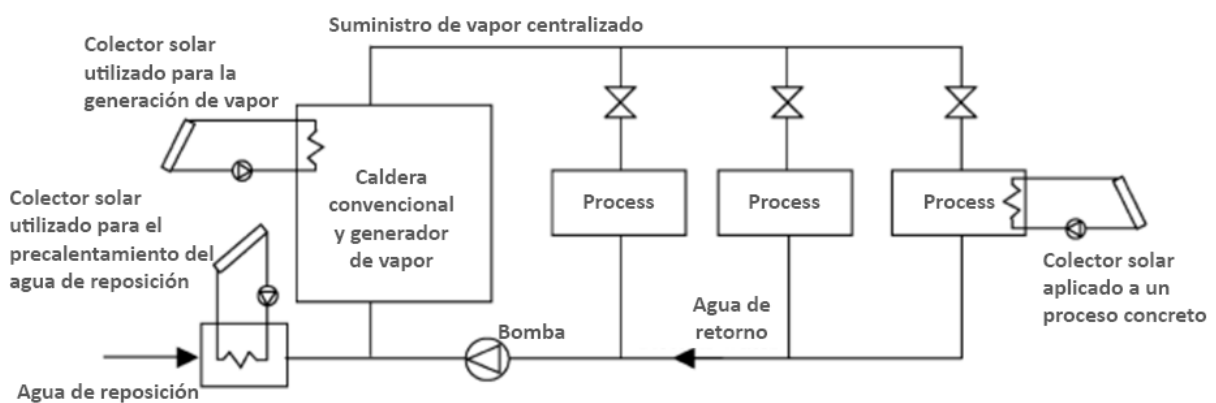


Figura 38: Acoplamiento solar en un proceso industrial.[17]

Los procesos mencionados anteriormente están representados en el orden comentado y representados de izquierda a derecha de la figura anterior.

Como muestra de los sistemas de acoplamiento a las distintas operaciones, en la figura 39 se muestra el detalle del acoplamiento solar para el precalentamiento del retorno del proceso industrial:

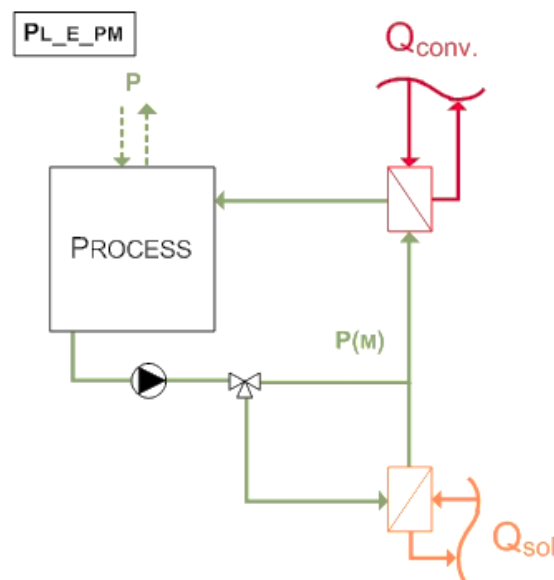


Figura 39: Acoplamiento en serie para el calentamiento del retorno del proceso. Tipo 1. [22]

(PL_E_PM = calor externo para calentamiento de producto o medio de proceso)

Este concepto de integración representado en la figura anterior es, básicamente, el más fácil ya que se instala un intercambiador de calor solar adicional en serie con el intercambiador de calor convencional para calentar un producto o medio de proceso (por ejemplo, agua, lejía, jugo de frutas, etc.). Se puede aplicar a las tres categorías de consumidores de calor: precalentamiento de corrientes de fluidos, calentamiento y mantenimiento de la temperatura de baños, maquinarias o tanques y procesos de separación térmica. La integración en serie de un intercambiador de calor accionado por energía solar se puede realizar de manera que solo se caliente una parte de todo el producto o la corriente media del proceso y, por lo tanto, las dimensiones de la superficie, la bomba y la tubería del intercambiador de calor se pueden mantener pequeñas. [7]

Para este mismo proceso de precalentamiento de retorno de proceso, también podría haber la siguiente configuración, en la cual, el calor convencional y el calor aportado por la fuente solar, están integrados en el proceso. Esta configuración comentada se muestra a continuación:

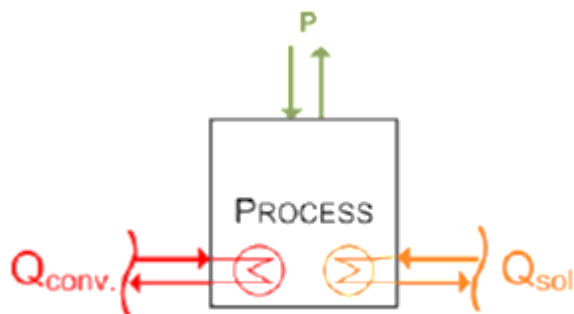


Figura 40: Acoplamiento en serie para el calentamiento del retorno del proceso. Tipo 2. [22]

Para este tipo de configuración, la integración de una superficie de intercambiador de calor adicional dentro de baños, maquinarias o tanques se utiliza para la categoría "calentamiento y mantenimiento de la temperatura de baños, maquinarias o tanques". Por lo general, la superficie de calefacción interna impulsada por energía solar adicional se instala en paralelo a la fuente de calor convencional. Para este concepto es importante considerar el espacio disponible en el equipo de proceso ya que suele estar limitado por el producto tratado (ej. partes metálicas) o componentes (ej. agitadores, coladores, etc.). [7]

Además de estas configuraciones mostradas, en las dos figuras que se muestran a continuación, se podrán ver dos configuraciones más, de tipo paralelo, para la producción de vapor a baja y media presión. La primera que se podrá apreciar será para procesos industriales con una temperatura de proceso asociada menor de 100°C, la segunda y última que se verá en esta sección será para procesos en los cuales la temperatura de proceso sea superior a los 100°C.

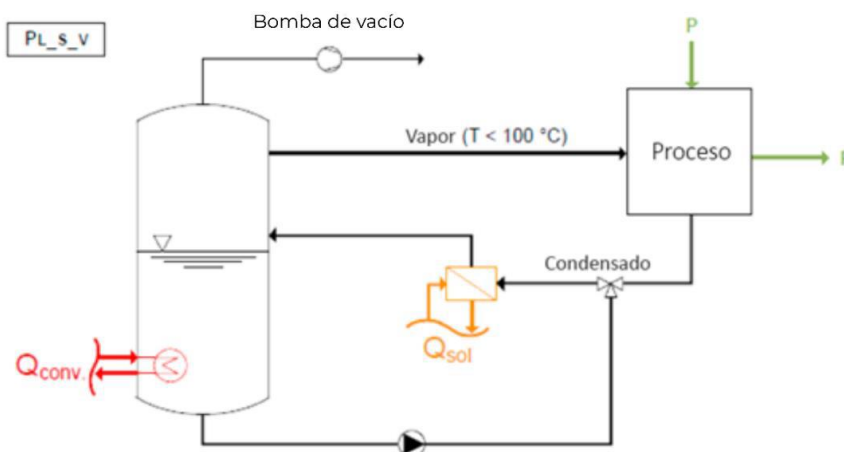


Figura 41: Acoplamiento en paralelo para la producción directa de vapor (T^a de proceso $< 100^\circ\text{C}$). [22]

La generación de vapor solar con vacío se puede aplicar para numerosos procesos de evaporación, por ejemplo, en la industria de alimentos y bebidas, ya que las temperaturas de proceso típicas están en el rango de 40 - 80 °C. Por lo tanto, se requiere un almacenamiento al vacío con un intercambiador de calor convencional. El condensado del proceso de evaporación se precalienta con energía solar y se alimenta al almacenamiento al vacío. El condensado evaporado se retroalimenta al proceso de evaporación. [7]

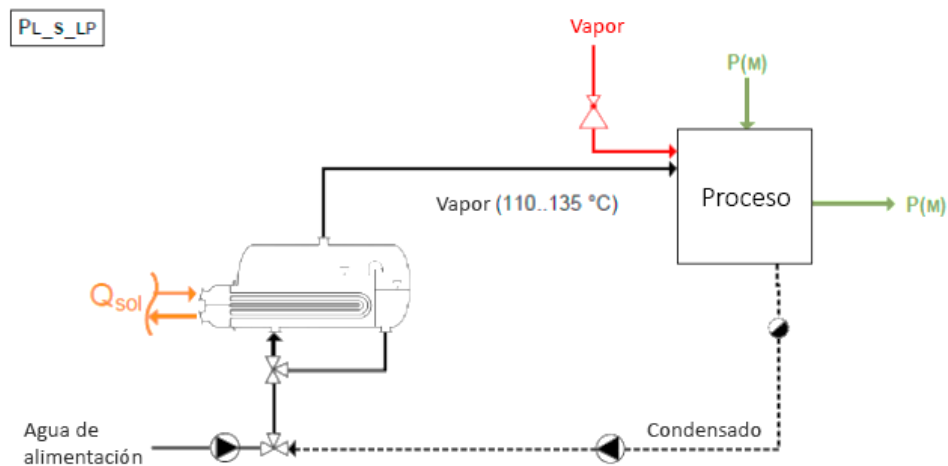


Figura 42: Acoplamiento en paralelo para la producción indirecta de vapor (T^a de proceso $> 100^{\circ}C$). [22]

Para el suministro de vapor solar con presión reducida de 1,5 - 3 bar (según 110 - 135 °C) se requiere un hervidor de agua alimentado con calor solar. El agua de alimentación o condensado se introduce en el rehervidor, se evapora y se utiliza para calentar el proceso. Por lo tanto, se reduce la demanda de vapor convencional para el calentamiento por inyección. Por lo tanto, este concepto de integración también se puede aplicar en condiciones climáticas moderadas. [7]

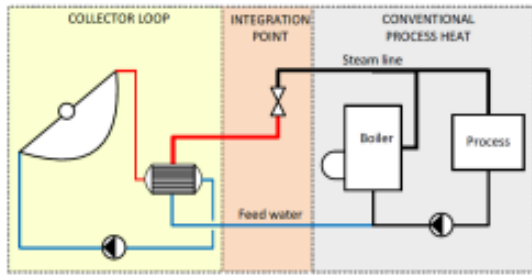
Estas son solo una parte de las distintas configuraciones existentes de acoplamiento solar para la industria. Si se quisiera analizar por mero interés del lector algún que otro tipo de configuración, se recomienda visitar el enlace asociado a la referencia [7].

Por otra parte, el objetivo de la integración es identificar el nivel de integración más favorable de la energía solar en la industria y el concepto de integración más eficaz. Debido a la complejidad de los procesos industriales, tanto en la generación como en la distribución, el hecho de tener una integración de la propia energía solar en los procesos industriales es muy importante para el resultado de este. La integración se puede realizar a nivel de suministro de energía o a nivel de proceso.

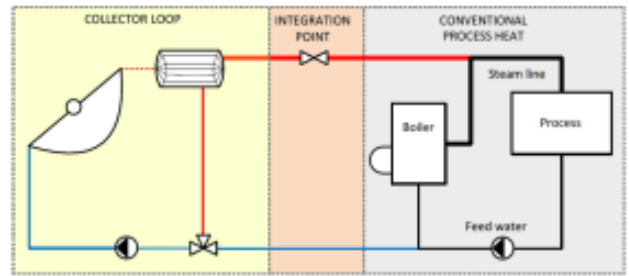
El punto de integración determina el lugar del acoplamiento de la instalación solar a la instalación convencional. El punto de integración de la instalación solar con la instalación convencional puede ser un intercambiador de calor, una válvula o simplemente una tubería en forma de T. El concepto de integración debe cumplir los requerimientos del punto de integración en nivel de temperatura, potencia térmica, etc.

Algunos ejemplos de integración podrían ser los mostrados en la figura 43. Lo más remarcable de la figura es el hecho de poder ver de una manera visual los distintos puntos de integración en el sistema mencionados antes: tanto en las dos primeras (generación indirecta de vapor y directa de vapor) el punto de integración es el que marca la válvula, en el tipo de calentamiento del agua de alimentación, el punto de integración es mediante un compensador hidráulico (estos mismos permiten la separación hidráulica de los circuitos de generación y distribución en los sistemas de calefacción y refrigeración, evitando los problemas derivados de la diferencia de caudal) y por último el punto de integración es un intercambiador de calor.

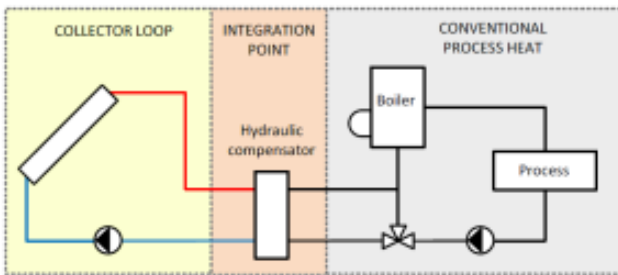
Estos conceptos de integración anteriores en los dos niveles de integración (generación y proceso) se pueden representar en diferentes esquemas.



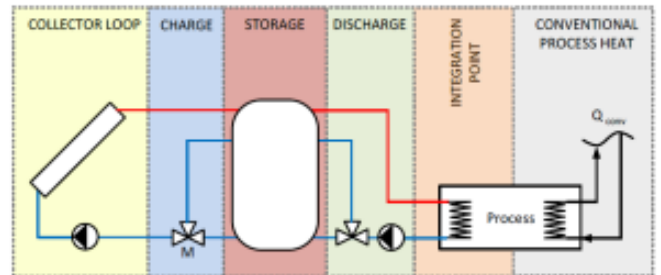
Generación indirecta de vapor



Generación directa de vapor

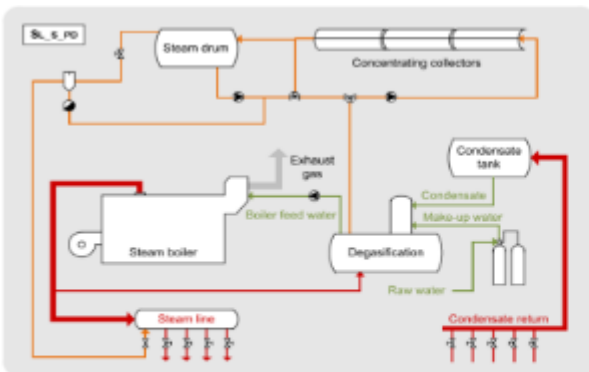


Calentamiento del agua de alimentación

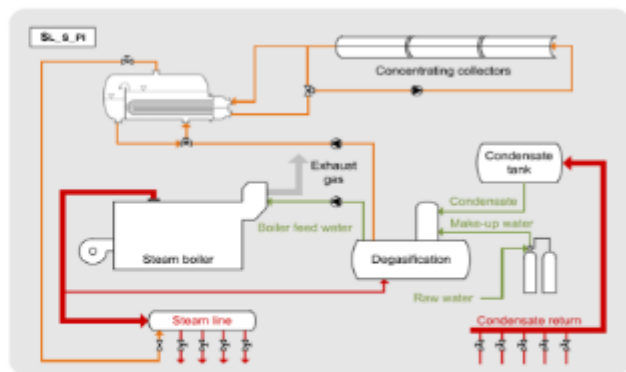


Calentamiento indirecto de un baño

Figura 43: Integración de energía solar en la industria [22]

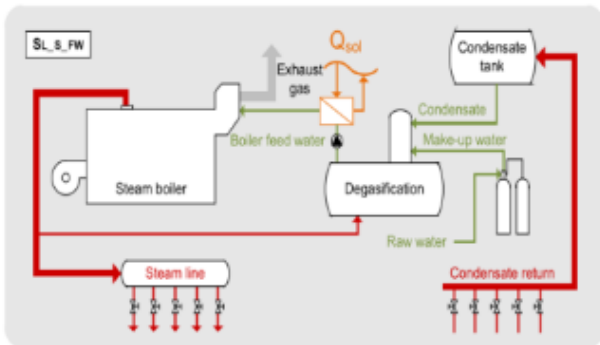


Sistema de calentamiento directo en el sistema de generación de vapor

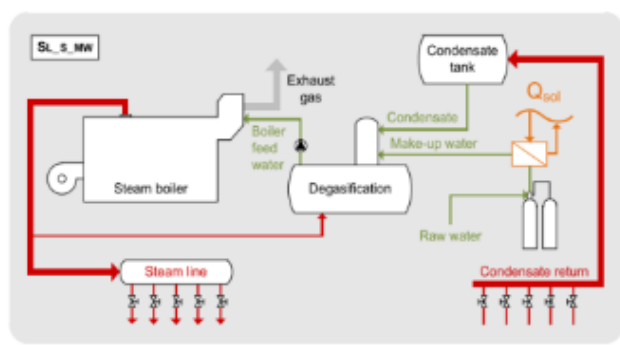


Sistema de calentamiento indirecto en el sistema de generación de vapor

Figura 44: Sistemas de calentamiento en el sistema de generación de vapor directo e indirecto. [22]



Sistema de calentamiento indirecto para precalentar el agua de alimentación



Sistema de calentamiento indirecto para precalentar el agua de reposición

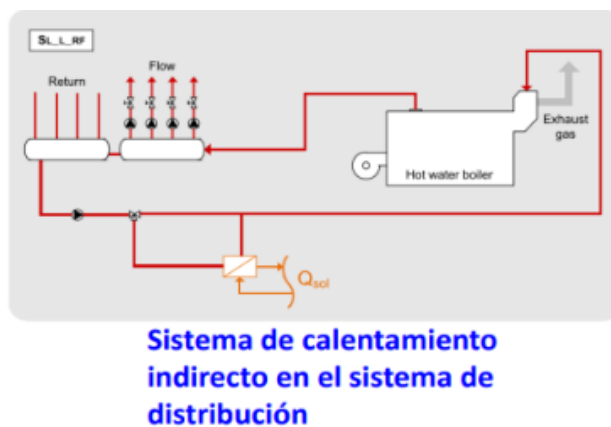


Figura 45: Ejemplos de integración de energía térmica. [22]

Como se puede apreciar en estas figuras finales, dependiendo del sistema de calentamiento que se implante en el proceso industrial, la energía térmica procedente de sol viene integrada en un sitio distinto del esquema. De esta manera, una vez vistos los distintos tipos de acoplamientos y las distintas formas de integrar la energía en los sistemas térmicos, se puede cerrar este subapartado.

3 ANÁLISIS DE LAS INSTALACIONES DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

3.1 Introducción al análisis de las instalaciones.

En este último apartado se procede a realizar un análisis de las plantas termosolares que hay instaladas y en funcionamiento asociadas a los diversos procesos industriales. En total, según la página web de donde se ha sacado la información (Ship-plants.com) hay un total de 303 plantas en funcionamiento, de los cuales, solo hay 293 fechadas y datadas. Las plantas, como se verá representado en la figura 47, están repartidas en gran cantidad de ubicaciones a lo ancho del planeta. Desde la opción interna de la página de “Datos”, situada a la parte izquierda de la página, podemos encontrar distintos datos de las plantas que hay en la web desde el año 1987 (registro más antiguo que hay) hasta el año 2022 (última fecha que se puede encontrar).

Paso seguido, como se ha comentado, se muestra en la figura 47 una distribución de todas las instalaciones térmicas aplicadas a las industrias sin distinguir su utilidad o aplicación a la que cada una de ellas está aplicada. En esta figura se pueden ubicar cada una de las distintas plantas. Las ubicaciones que poseen un indicador distinto a los demás, es decir, más grande, significa que la planta que hay ubicada en ese sitio es una planta de grandes dimensiones.

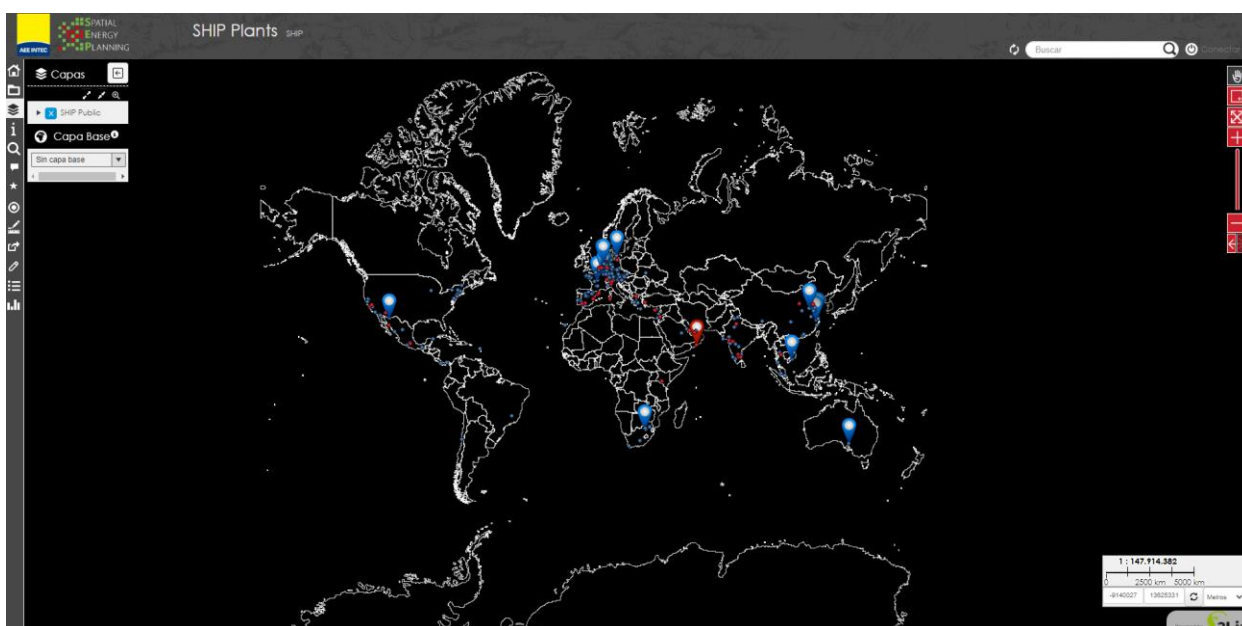


Figura 47: Distribución de las plantas instalada. [19]

Una de las cosas curiosas de esta figura 47 es la cantidad de instalaciones térmicas ubicadas en la India pese a ser un país en vías de desarrollo, aunque, aun así, es un país lleno de industria emergente que necesita ingentes cantidades de energía para abastecer toda la demanda que necesita. Viendo además el número de plantas que hay operando en España (o bien en la península Ibérica) se puede apreciar que ya la ha superado en número de plantas en operación pese a ser uno de los países pioneros en esta tecnología, siendo estas plantas de una cifra muy reducida.

A continuación, a modo de ejemplo, se mostrará cómo viene la información dentro de esta página web. Lo primero que se ve cuando accedemos a la página web, como se ha mostrado, es el mapamundi donde vienen ubicadas todas las plantas en sus países correspondientes. En las figuras 48 y 49 se podrá ver un ejemplo para mostrar de qué manera se ha obtenido toda la información para recrear las gráficas que vienen a continuación.

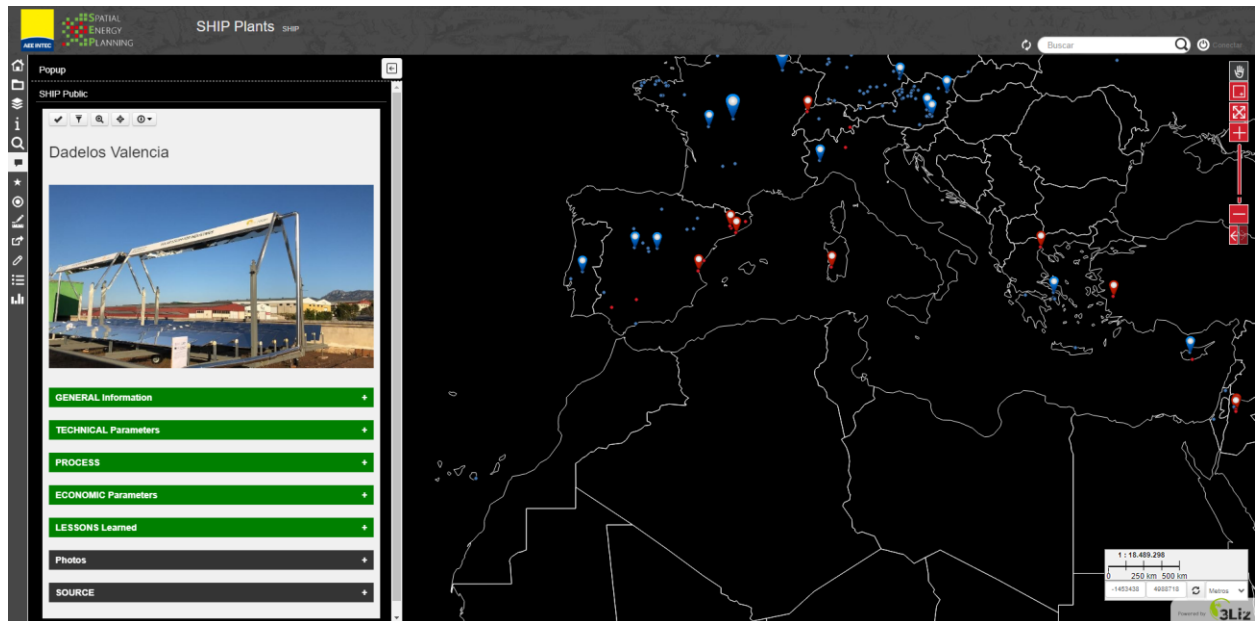


Figura 48: Ejemplo de contenido. [19]

Siguiendo el ejemplo mostrado en la figura 48, si quisiéramos conocer más sobre esta planta, lo primero que deberíamos acceder es a las distintas opciones que nos muestra la página web, que son las siguientes: información general, parámetros técnicos, información sobre el proceso industrial de la propia planta, parámetros económicos (costes de inversión, energía solar almacenada en €, etc.), lecciones aprendidas, fotos de la planta y la fuente de donde se ha obtenido esta información.

GENERAL Information	TECHNICAL Parameters	PROCESS	ECONOMIC Parameters	LESSONS Learned	Photos	SOURCE																																																																																	
<table border="1"> <tr><td>Country installed</td><td>Spain</td></tr> <tr><td>Address</td><td>Valencia, Spain</td></tr> <tr><td>Industry sector, NACE code</td><td>Manufacture of prepared animal feeds</td></tr> <tr><td>Solar thermal system owner / operator</td><td>Dadelos</td></tr> <tr><td>Solar thermal engineering company</td><td>Solatom</td></tr> <tr><td>Process integration engineering company</td><td></td></tr> <tr><td>Year of operation start</td><td>2017</td></tr> </table>	Country installed	Spain	Address	Valencia, Spain	Industry sector, NACE code	Manufacture of prepared animal feeds	Solar thermal system owner / operator	Dadelos	Solar thermal engineering company	Solatom	Process integration engineering company		Year of operation start	2017	<table border="1"> <tr><td>Collector technology</td><td>Linear fresnel</td></tr> <tr><td>Collector name</td><td></td></tr> <tr><td>Installed collector area (gross), m²</td><td>72</td></tr> <tr><td>Installed collector area (aperture), m²</td><td>0</td></tr> <tr><td>Installed collector area (absorber), m²</td><td>0</td></tr> <tr><td>Installed thermal power (estimated), kWth</td><td>50.4</td></tr> <tr><td>Solar collector loop heat transfer fluid</td><td>water</td></tr> <tr><td>Solar energy storage</td><td></td></tr> <tr><td>Storage volume, m³</td><td>0</td></tr> <tr><td>Conventional heat source</td><td></td></tr> <tr><td>Kind of fuel used</td><td></td></tr> </table>	Collector technology	Linear fresnel	Collector name		Installed collector area (gross), m ²	72	Installed collector area (aperture), m ²	0	Installed collector area (absorber), m ²	0	Installed thermal power (estimated), kWth	50.4	Solar collector loop heat transfer fluid	water	Solar energy storage		Storage volume, m ³	0	Conventional heat source		Kind of fuel used		<table border="1"> <tr><td>Solar thermal energy used for</td><td></td></tr> <tr><td>Unit operation</td><td>general process heating</td></tr> <tr><td>Point of Solar Heat Integration</td><td>Heating of supply line</td></tr> <tr><td>Integration how and where</td><td></td></tr> <tr><td>Temperature range process</td><td></td></tr> <tr><td>Temperature range solar loop (min/max) [C°]</td><td></td></tr> </table>	Solar thermal energy used for		Unit operation	general process heating	Point of Solar Heat Integration	Heating of supply line	Integration how and where		Temperature range process		Temperature range solar loop (min/max) [C°]		<table border="1"> <tr><td>Total investment costs (excl. VAT) [€]</td><td>1</td></tr> <tr><td>Solar loop (excl. VAT) [€]</td><td>0</td></tr> <tr><td>Solar energy storage (excl. VAT) [€]</td><td></td></tr> <tr><td>Others (excl. VAT) [€]</td><td></td></tr> <tr><td>Process integration (excl. VAT) [€]</td><td></td></tr> <tr><td>Subsidy, € or % of total investment costs</td><td>not known</td></tr> <tr><td>Cost for fuel replaced [€/MWh]</td><td></td></tr> <tr><td>Calculated solar thermal system life time [a]</td><td>0</td></tr> <tr><td>Annual useful solar heat delivery [MWh/a]</td><td></td></tr> <tr><td>Specific annual useful solar heat delivery [MWh/a/m²]</td><td>0</td></tr> <tr><td>Specific investment costs [€/m²]</td><td>0.01</td></tr> <tr><td>Solar fraction</td><td></td></tr> </table>	Total investment costs (excl. VAT) [€]	1	Solar loop (excl. VAT) [€]	0	Solar energy storage (excl. VAT) [€]		Others (excl. VAT) [€]		Process integration (excl. VAT) [€]		Subsidy, € or % of total investment costs	not known	Cost for fuel replaced [€/MWh]		Calculated solar thermal system life time [a]	0	Annual useful solar heat delivery [MWh/a]		Specific annual useful solar heat delivery [MWh/a/m ²]	0	Specific investment costs [€/m ²]	0.01	Solar fraction		<ul style="list-style-type: none"> Initiative Integration methodology Crucial interfaces Construction / Commissioning Operation / Performance Recommendations 	<table border="1"> <tr><td>Author</td><td>Wolfgang Gruber-Glatzli</td></tr> <tr><td>Company of author</td><td>AEE INTEC</td></tr> <tr><td>Email</td><td>w.gruber-glatzli@aee.at</td></tr> <tr><td>Phone</td><td></td></tr> <tr><td>Homepage</td><td></td></tr> </table>	Author	Wolfgang Gruber-Glatzli	Company of author	AEE INTEC	Email	w.gruber-glatzli@aee.at	Phone		Homepage	
Country installed	Spain																																																																																						
Address	Valencia, Spain																																																																																						
Industry sector, NACE code	Manufacture of prepared animal feeds																																																																																						
Solar thermal system owner / operator	Dadelos																																																																																						
Solar thermal engineering company	Solatom																																																																																						
Process integration engineering company																																																																																							
Year of operation start	2017																																																																																						
Collector technology	Linear fresnel																																																																																						
Collector name																																																																																							
Installed collector area (gross), m ²	72																																																																																						
Installed collector area (aperture), m ²	0																																																																																						
Installed collector area (absorber), m ²	0																																																																																						
Installed thermal power (estimated), kWth	50.4																																																																																						
Solar collector loop heat transfer fluid	water																																																																																						
Solar energy storage																																																																																							
Storage volume, m ³	0																																																																																						
Conventional heat source																																																																																							
Kind of fuel used																																																																																							
Solar thermal energy used for																																																																																							
Unit operation	general process heating																																																																																						
Point of Solar Heat Integration	Heating of supply line																																																																																						
Integration how and where																																																																																							
Temperature range process																																																																																							
Temperature range solar loop (min/max) [C°]																																																																																							
Total investment costs (excl. VAT) [€]	1																																																																																						
Solar loop (excl. VAT) [€]	0																																																																																						
Solar energy storage (excl. VAT) [€]																																																																																							
Others (excl. VAT) [€]																																																																																							
Process integration (excl. VAT) [€]																																																																																							
Subsidy, € or % of total investment costs	not known																																																																																						
Cost for fuel replaced [€/MWh]																																																																																							
Calculated solar thermal system life time [a]	0																																																																																						
Annual useful solar heat delivery [MWh/a]																																																																																							
Specific annual useful solar heat delivery [MWh/a/m ²]	0																																																																																						
Specific investment costs [€/m ²]	0.01																																																																																						
Solar fraction																																																																																							
Author	Wolfgang Gruber-Glatzli																																																																																						
Company of author	AEE INTEC																																																																																						
Email	w.gruber-glatzli@aee.at																																																																																						
Phone																																																																																							
Homepage																																																																																							

Figura 49: Tablas de contenido. [19]

Como se puede observar en la figura 49, no en todas las pestañas aparece información. Por tanto, no se ha podido realizar un análisis al detalle de todas las plantas que aparecen en el mapamundi.

Si además, clicamos en la pestaña de “datos”, vendrán enumeradas las distintas plantas que hay en la base de datos con sus datos a modo de fila, como se podría ver en la figura número 50:

Industry sector	Installed collector area (absorber) [m ²]	Installed collector area (aperture) [m ²]	Installed collector area (gross) [m ²]	Installed thermal power (actual) [kWth]	Integration how and why
Manufacture of bakery and farinaceous products	Nan	29.4	30	Nan	
Agriculture, forestry and fishing	Nan	440	220		
Agriculture, forestry and fishing	Nan	Nan	10	Nan	
Water supply; sewerage; waste management and remediation activities	Nan	Nan	743	Nan	
Manufacture of dairy products	Nan	Nan	180	Nan	
Manufacture of textiles	Nan	Nan	9903	Nan	fresh water is heated up
Manufacture of basic pharmaceutical products and pharmaceutical preparations	500	500	525	367	

Figura 50: Registros de las distintas plantas de la web con sus datos. [19]

3.2 Evolución de las instalaciones termosolares.

Para estudiar y realizar un análisis de las distintas plantas solares que hay instaladas o proyectadas alrededor de todo el globo a lo largo de estas últimas décadas, se realizarán de dos maneras distintas: en primer lugar se podrá ver cómo han evolucionado la cantidad de metros cuadrados de instalaciones proyectadas sacadas directamente de los distintos proyectos (realizando el análisis desde el parámetro “Instalado collector área (gross)”, datos obtenidos directamente de la página Ship-plants.com mencionada antes). Posteriormente, para indagar un poco más en estos datos que se muestran a continuación, se realiza otro análisis para ver cómo han evolucionado las plantas en número de proyectos. Es decir, en resumen, se verán cuantos metros cuadrados se han proyectado a lo largo de todos estos años (comenzando desde el primer proyecto que hay en la base de datos, que se sitúa en el año 1987) y finalmente cuántos proyectos se han registrado para ver cómo han ido en aumento estos tipos de plantas en función iba avanzando el tiempo y, con él, todo lo que conlleva: mejoras en la tecnología, concienciación del medio ambiente, intentos por reducir el gasto introduciendo un sistema solar, etc.

Con lo comentado, en la figura 47 podemos ver una gráfica donde se muestran, según los años, la cantidad de metros cuadrados que se han instalado (“Collector area”), además se mostrará a continuación una tabla en la cual (según el año de la puesta en marcha del proyecto) se podrá ver la superficie proyectada en función del tipo de captador utilizado. Antes de adentrarse en estos datos hay que remarcar una cuestión: en el año 2017 se puso en marcha el proyecto más grande (hablando de plantas de tecnología termosolar) que se ha visto hasta ahora, tal proyecto se trata del proyecto de Miraah en Omán, el cual se analizará algo más adelante. Este proyecto tiene proyectado un total de 622080 m^2 de campo solar, teniendo una tecnología de captación de captadores cilindroparabólicos, el cual tiene, hoy en día según la base de datos comentada, un total de 330000 m^2 , lo que quiere decir que el proyecto aún queda muchos metros cuadrados que, estando proyectados, no están instalados. Como este proyecto es de unas dimensiones muy superiores a las demás (siendo el siguiente de mayor envergadura, un proyecto australiano llamado “Sundrop Farms”, de la cual no está registrada que tipo de captador utiliza este proyecto del 2014, con un total de 51505 m^2) se mostrarán gráficas con el proyecto de Miraah y sin el, ya que así se podrá ver desde dos puntos de vista para mostrar el impacto que ha tenido esta instalación en el mundo de los sistemas termosolares.

Para aclarar una cosa que se verá a continuación en todas las tablas que se muestran en este apartado, dentro del grupo marcado como “otros” no está bien definido dentro de la página que tipos de captadores son en total. Tan solo sabemos que, dentro de este tipo, están englobados los de captadores fotovoltaicos acoplados a algún tipo de almacenamiento, es todo lo que se ha podido saber acerca de este grupo. Se podría suponer que dentro de este grupo se han podido introducir los mixes de tecnologías.

Otro dato para remarcar antes de entrar en los datos mostrados a continuación es que no hay datos en la nueva versión de la base de datos de este año 2023 cuando, en la versión antigua, si que había datos de plantas datadas a fechas de este año.

Como se ha comentado anteriormente, en 2017 fue cuando se comenzó el proyecto de Miraah y, como bien se puede apreciar, en cuanto a metros cuadrados de instalación se ve un progreso significativo, sobre todo, desde el año 2006.

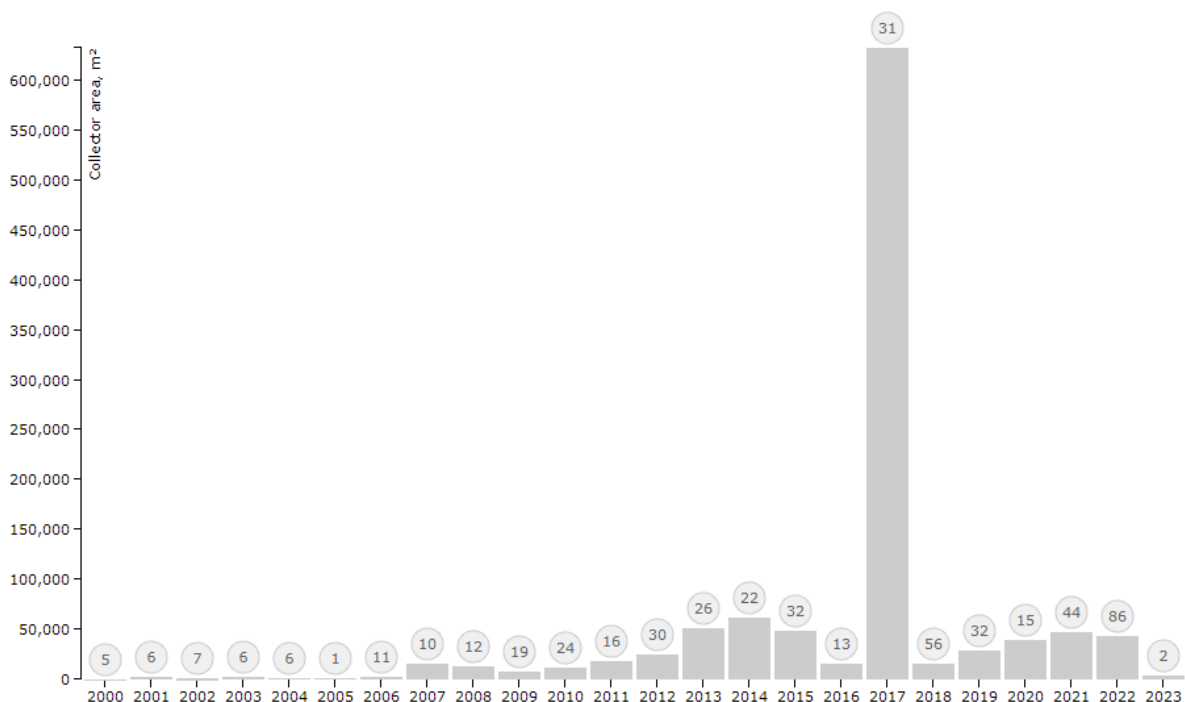


Figura 51: Área instalada por metro cuadrado desde al año 2000 de Instalaciones térmicas. [19]

Para poder desgranar un poco más estos datos, se muestra a continuación, de manera tabulada, el número de metros cuadrados instalados por año y tipo que se muestran en la figura anterior. Cabe que decir que, aunque hayamos mencionado que el primer proyecto de este tipo de tecnología es datado en el año 1987, si se mostrasen los datos desde entonces (que son pocos como ya se verá) no se podrían ver bien los datos más actuales, esa es la razón por la cual sólo se muestran los datos de estas dos últimas décadas. Con todo esto, se muestra la tabla mencionada:

Metros cuadrados										
Tipo de instalación	1987	1993	1994	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Captador sin cubierta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Captador de aire	0	0	0	0	0	0	0	350,4	864	110
Captador solar plano	440	544	396	2551	2570	48	36	133,2	1590	64
Captador de tubo de vacío	0	0	0	0	9	0	0	0	100	0
Captador Fresnel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Captador parabólico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Otros	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Total	440	544	396	2551	2579	49	36	483,6	2554	174
Tipo de instalación	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Captador sin cubierta	0	0	0	0	0	0	2637	0	0	0
Captador de aire	743	80	0	3700	10	0	480	20,1	0	0
Captador solar plano	506	14773,6	400	956	1822	784	1996	4541	1592,6	29336,2
Captador de tubo de vacío	96	0	1395	888	1017,4	10625	1190	700	434	10609
Captador Fresnel	183	0	0	185	2000	0	2800	0	0	1634
Captador parabólico	0	0	440	0	0	115	627	690	263	25
Otros	253	192	0	0	80	0	0	0	52029	0
Total	1781	15045,6	2235	5729	4929,4	11524	9730	5951,1	54318,6	41604,2
Tipo de instalación	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total		
Captador sin cubierta	0	0	0	335	0	0	0	2972		
Captador de aire	0	0	1589,3	631,5	380	1100	3597	13655,3		
Captador solar plano	6591	167,8	7367,6	4822,5	15756	16102	20001,6	135888,1		
Captador de tubo de vacío	0	675,4	960	888	380	1848	5836	37650,8		
Captador Fresnel	0	1988	0	280,6	0	0	866	9936,6		
Captador parabólico	0	622080	1844,4	4192	17280	10358	5080	662994,4		
Otros	250	0	534	0	387	784	1628	56138		
Total	6841	624911,2	12295,3	11149,6	34183	30192	37008,6	919235,2		

Tabla 1: Superficie instalada según año y tecnología. [20]

Lo primero que llama la atención al mirar la tabla número 1 es que no todos los años son consecutivos, ya que hay huecos como, por ejemplo, desde 1987 y 1993 y eso es debido a que no hay registros de ninguna planta instalada en la base de datos usada. Los tipos de instalaciones que se muestran son los más utilizados a la hora

de la práctica, que son: instalaciones con captadores sin cubierta (los más económicos como vimos), los captadores de aire, los solares planos, los de tubo de vacío, captadores Fresnel y cilindroparabólico y otros (no especificados).

Como se puede apreciar en la columna del subtotal de metros instalados a lo largo de todos los años según año y tecnología, como se puede apreciar, gracias a la planta de Miraah, la tecnología solar más proyectada desde 1987 es la de tipo cilindroparabólicos, teniendo un total de $662994 m^2$ teniendo el proyecto mencionado la gran cantidad del total de esta cifra, seguido de la tecnología de captadores solares planos que, a su vez, es la tecnología más simple de todas, teniendo un total de $135888 m^2$ instalados. El total de toda el área es una cantidad que asciende a $919235 m^2$, siendo un total bastante elevado, pero no suficiente como el que se espera para un futuro.

El tercer proyecto más importante de todos los que están descritos en la web comentada se trata de un proyecto llamado “Codelco Gabriela Mistral”. Este proyecto se basa de una instalación de $39300 m^2$ de superficie bruta y utiliza una tecnología de captadores solares planos con un almacenamiento de agua caliente y alimentado con aceite. Proyecto datado en el 2013 y ubicado en Chile, dedicada al sector minero.

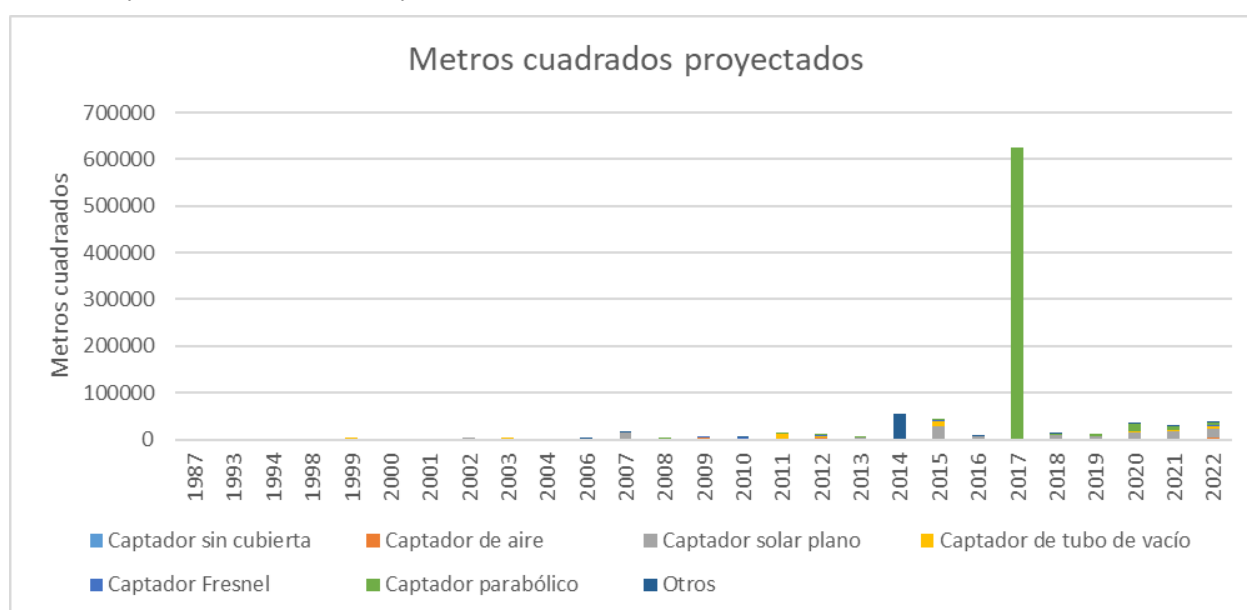


Figura 52: Metros cuadrados proyectados según tipo de instalación CON Miraah. [20]

Como se podrá comparar con las dos figuras mostradas seguidamente, la figura 52 y 53, en la primera prácticamente no se pueden apreciar bien los datos de la diferencia que marca a lo largo de los años el proyecto Miraah. Se puede observar como coincide con la figura 51 mostrada antes.

Como se puede apreciar en la figura 52, desde los comienzos de estas instalaciones térmicas, apoyándonos en la base de datos que poseemos, el tipo de captadores que se ha instalado desde los primeros comienzos fueron plantas con captadores tipo “captador solar plano”.

Estos tipos, como bien se puede apreciar en esta última figura, siempre han tenido una proyección más o menos constante (siguiendo, como en general, una tendencia ascendente), teniendo un impacto anual en la cantidad de instalaciones proyectadas. A diferencia de otra tecnología, como podría ser la tecnología de captadores cilindroparabólicos, que sí que ha ido creciendo año tras año a medida que la tecnología de captación solar ha sido más madura.

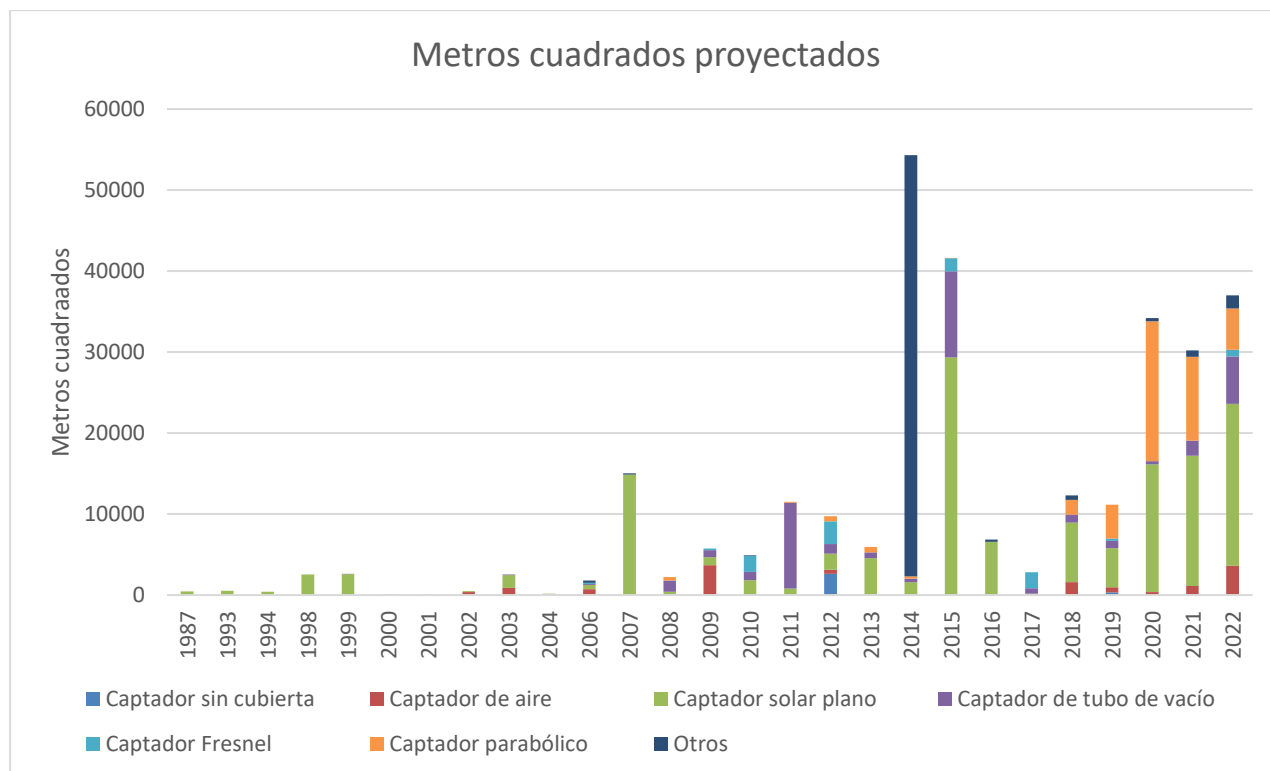


Figura 53: Metros cuadrados proyectados según tipo de instalación SIN Miraah [20]

Para ver desde otra perspectiva, si queremos conocer la progresión en cuanto a superficie instalada desde el siglo pasado, se muestran a continuación dos gráficos donde podemos ver cómo ha ido variando esta tendencia en cuestión de superficie instalada bruta.



Figura 54: Tendencia de instalaciones proyectadas por metro cuadrado CON Miraah. [20]

Nuevamente, al igual que ha pasado en las figuras 54 y 55, primero se muestra una visión real y total de todas las instalaciones y luego se muestra la misma gráfica sin la planta solar de Miraah para ver mejor los detalles de las demás instalaciones o de los demás años.

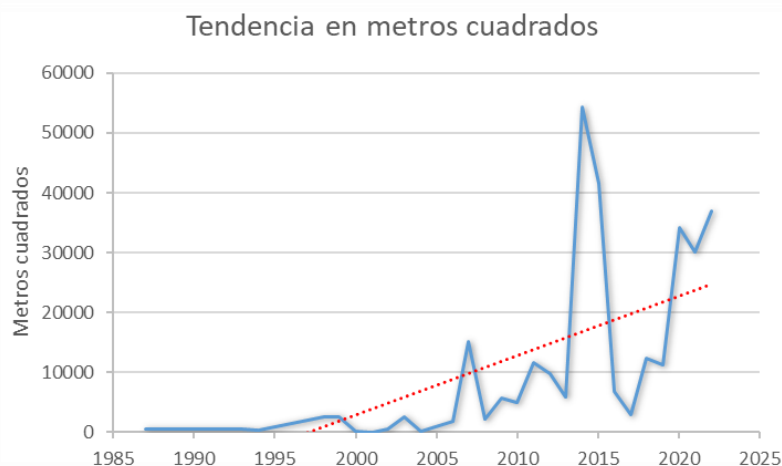


Figura 55: Tendencia de instalaciones proyectadas por metro cuadrado SIN Miraah. [20]

Como se puede apreciar, la tendencia es, obviamente, ascendente, pero teniendo un pequeño descenso en el año 2020, posiblemente debido a la coincidencia con el año de la pandemia mundial de la COVID-19. A continuación, cuando veamos el siguiente análisis podremos ver que en 2019 el número de instalaciones decreció de una manera un poco abrupta.

Para el segundo análisis que se va a realizar en este trabajo es analizar una segunda vez todas las plantas que se han instalado/proyectado desde el año 1987 hasta nuestros días. Como se ha comentado en el caso anterior, no todas estas plantas siguen funcionando o están acabada totalmente (como puede ser la de Miraah). Para mostrar aquí todas las plantas analizadas, se muestra igual que para el caso anterior, en una tabla de Excel tenemos separadas por tipo y año de tecnología de captadores.

Número de plantas										
Tipo de instalación	1987	1993	1994	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Captador sin cubierta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Captador de aire	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1
Captador solar plano	1	3	2	2	2	1	1	3	2	1
Captador de tubo de vacío	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
Captador Fresnel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Captador parabólico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Otros	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Total	1	3	2	2	3	2	1	5	4	2
Tipo de instalación	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Captador sin cubierta	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
Captador de aire	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0
Captador solar plano	1	5	2	8	6	3	5	10	3	9
Captador de tubo de vacío	1	0	2	3	6	5	2	2	2	4
Captador Fresnel	1	0	0	1	1	0	1	0	0	3
Captador parabólico	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1
Otros	2	1	0	0	1	0	0	0	3	0
Total	6	7	5	14	15	9	11	14	9	17
Tipo de instalación	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total		
Captador sin cubierta	0	0	0	1	0	0	0		3	
Captador de aire	0	0	5	3	1	9	5		33	
Captador solar plano	3	4	24	11	3	7	25		147	
Captador de tubo de vacío	0	2	5	3	1	1	11		52	
Captador Fresnel	0	3	0	3	0	0	2		15	
Captador parabólico	0	1	4	5	1	4	4		25	
Otros	1	0	2	0	2	1	5		19	
Total	4	10	40	26	8	22	52		294	

Tabla 2: Número de instalaciones según año y tecnología. [20]

Como se puede apreciar en la anterior tabla dos en la que se muestran todas las instalaciones mencionadas, hay un total de 294 plantas mostradas que tengan información relevante.

Se observa de una forma muy clara, ya que la diferencia es apreciable a simple vista que los captadores solares planos son los de mayor utilización en las instalaciones a nivel mundial, estando presente en un

total de 147 plantas solares térmicas que representa aproximadamente el 50% del total de instalaciones incluidas en la base de datos.

El mejor año en cuanto a instalaciones, se podría decir que fue el año 2022, ya que se llevaron a cabo la puesta en marcha de 52 instalaciones, siendo el año con mayor número de instalaciones de un solo tipo de captador, ya que de captadores planos se pusieron en marcha 25 plantas. Además, de vacío fueron puestas en marcha otras 11 de captadores de vacío y otras 5 de captadores de aire. Seguidamente de este año, los años 2018 y 2019. Esto no quiere decir que fuera el mejor año en cuanto a metros cuadrados instalados como ya hemos visto.

Los captadores de tubos de vacío y captadores de aire son las siguientes tecnologías más utilizadas con 52 y 33 instalaciones cada uno respectivamente. Las instalaciones de tubos de vacío mantienen una media de instalación entre 5 y 6 plantas por año desde 2006. Por su parte, las instalaciones con tecnología cilindroparabólico tienen un despuente entre los años 2014 y 2017.

Para poder ver de la misma manera que en el caso anterior la evolución de las plantas a nivel individual y de manera cuantitativa a lo largo de los años, desde la primera que se construyó, se muestra la siguiente figura número 32.

De esta figura hay una cosa que se debe aclarar y es el bache que existe entre los años 2019-2020, esto se debe a una cosa muy básica y es que en esos años se sucedieron los años del COVID-19 que comenzó en China (país que está apostando mucho por esta tecnología). Posterior a la pandemia se aprecia perfectamente la vuelta a la “normalidad” y a la reactivación de la economía y, por consiguiente, la reactivación de los proyectos que se quedaron parados en estos años. Otra de las tendencias a esta escalada en cuanto a número de proyectos se debe a la necesidad que tienen actualmente todas las industrias de fomentar e implementar su generación renovable debido a las medidas impuestas tanto en Europa como a nivel mundial de las emisiones de gases de efecto invernadero.

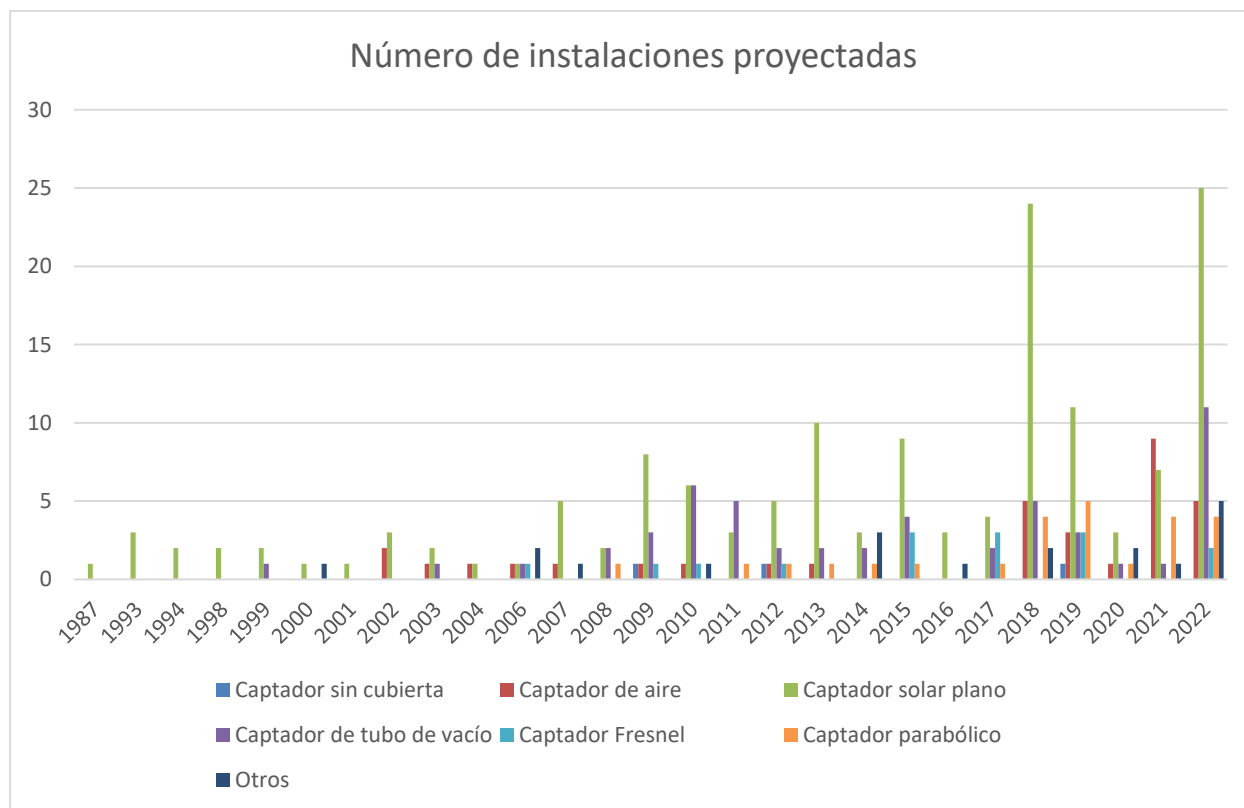


Figura 56: Plantas instaladas a lo largo de los años. [20]

La tendencia del crecimiento de esta tecnología, en números totales, sin tener en cuenta la tecnología que se utilice se puede apreciar en la figura 56. Viendo una clara tendencia al crecimiento a pesar de los varios bajones que tiene en años puntuales:

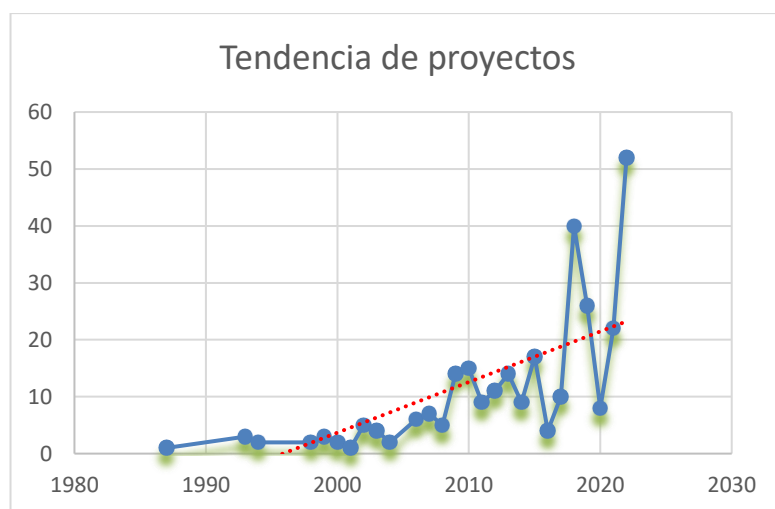


Figura 57: Tendencia de instalaciones proyectadas por número de proyectos. [20]

Para cerrar este subapartado se podría decir que, además de dejar claro que la evolución de la tecnología y su implementación a nivel mundial está bien clara y, que el crecimiento que está teniendo también es considerable, en cuanto a la tecnología de Captadores solar plano son los que más impacto están teniendo, llevándose mayor trozo de pastel al ser la tecnología más simple de todas ellas.

Como un análisis adicional a mencionar, se podría poner también en función de la potencia térmica instalada. Esta última se medirá en kWth.

Potencia instalada [kWth]										
Tipo de instalación	1987	1993	1994	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Captador sin cubierta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Captador de aire	0	0	0	0	0	0	0	245,28	604,8	77
Captador solar plano	308	380,8	277,2	1785,7	1925	33,6	25,2	93,2	1113	44,8
Captador de tubo de vacío	0	0	0	0	6,3	0	0	0	80	0
Captador Fresnel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Captador parabólico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Otros	0	0	0	0	0	0,7	0	0	0	0
Total	308	380,8	277,2	1785,7	1931,3	34,3	25,2	338,48	1797,8	121,8
Tipo de instalación	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Captador sin cubierta	0	0	0	2590	0	0	1845,9	0	0	0
Captador de aire	520,1	56	0	0	7	0	336	14,07	0	0
Captador solar plano	354,2	10341,52	280	769,2	1275,4	0	1397,2	3178,7	1114,82	20535,34
Captador de tubo de vacío	67,2	0	976,5	621,6	712,18	548,8	833	490	303,8	7426,3
Captador Fresnel	128,1	0	0	129,5	1400	7437,5	1960	0	0	1143,8
Captador parabólico	0	0	308	0	0	80,5	438,9	483	184,1	17,5
Otros	177,1	134,4	0	0	56	0	0	0	36290,1	0
Total	1246,7	10531,92	1564,5	4110,3	3450,58	8066,8	6811	4165,77	37892,82	29122,94
Tipo de instalación	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total		
Captador sin cubierta	0	0	0	234,5	0	0	0	4670,4		
Captador de aire	0	0	1112,51	442,04	86,8	770	2517,9	6789,5		
Captador solar plano	4613,7	117,46	5157,33	9234,75	11029,2	11271,4	14001,12	100657,84		
Captador de tubo de vacío	0	472,75	672	621,6	266	1293,6	4085,2	19476,83		
Captador Fresnel	0	1391,6	0	371,42	0	0	606,2	14568,12		
Captador parabólico	0	435456	1291,08	2934,4	12096	4132,1	3556	460977,58		
Otros	175	0	373,8	0	270,9	548,8	1139,6	39166,4		
Total	4788,7	437437,81	8606,72	13838,71	23748,9	18015,9	25906,02	646306,67		

Tabla 3: Potencia térmica instaladas según año y tipo de tecnología. [20]

Al igual que con el análisis que se realizó en un primer instante a partir de los metros cuadrados de instalación según captador y año, para este tercer análisis habrá que hacer la distinción de las instalaciones con y sin Miraah, ya que cuando contamos con ella, hay una diferencia muy considerable las demás. Por tanto, la distribución de la potencia instalada a lo largo de los años se puede ver representada en la figura 58:

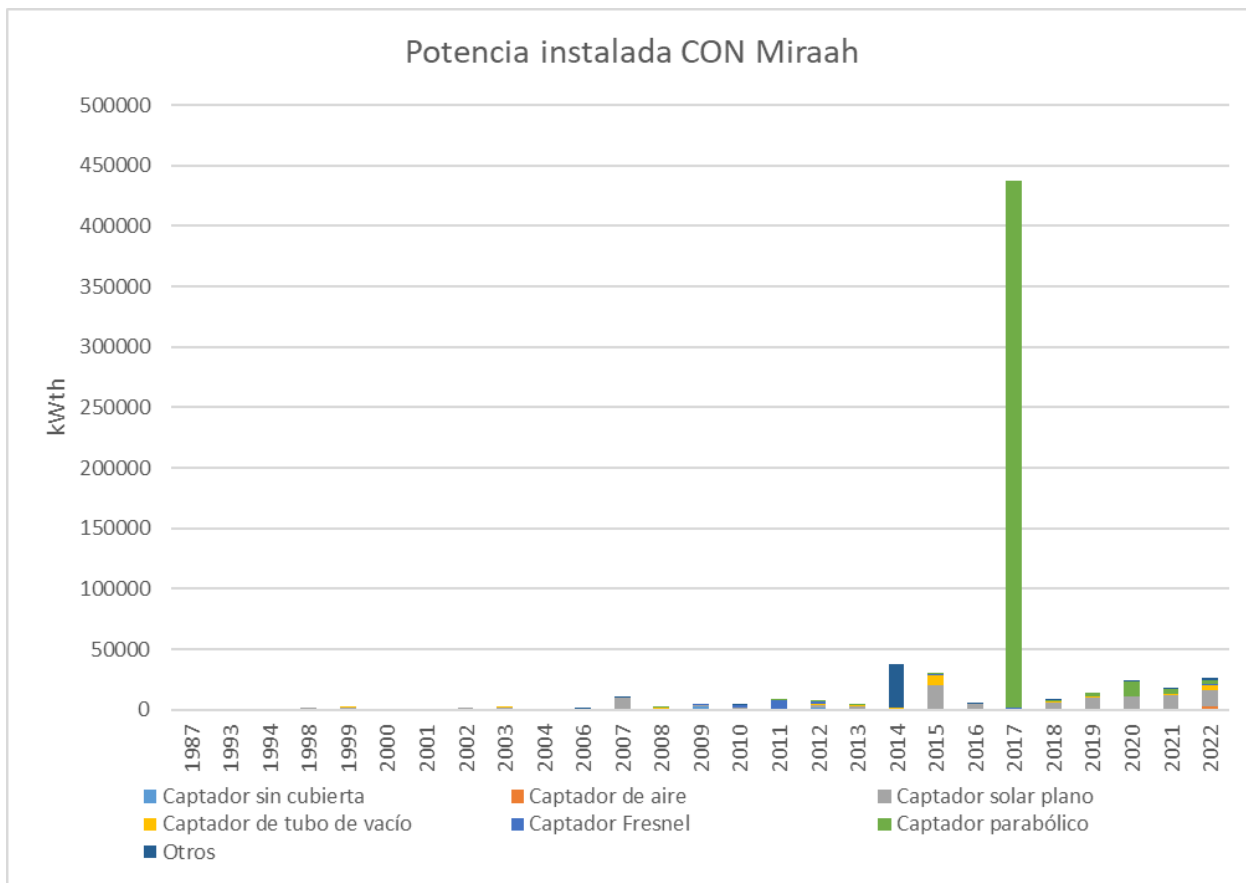


Figura 58: Potencia térmica proyectadas según tipo de instalación y año CON Miraah. [20]

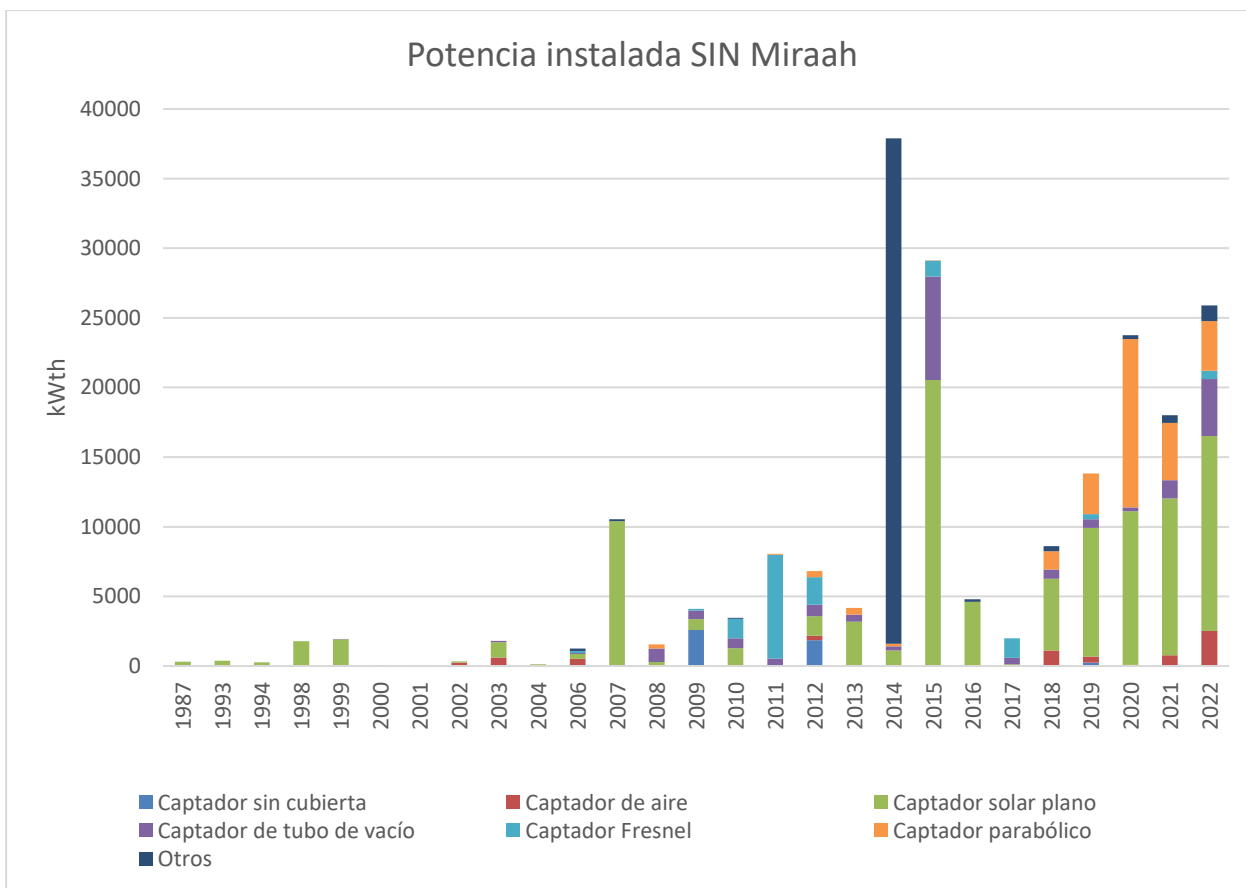


Figura 59: Potencia térmica proyectadas según tipo de instalación y año SIN Miraah. [20]

Si no se contara con la planta de Miraah, el año con más potencia instalada coincide con el que más metros cuadrados de campo solar se ha instalado, siendo este año el de 2014. Siendo esto algo obvio, ya que cuantos más metros cuadrados de instalación se tuviera, más energía térmica se debería de captar y, como se puede ver reflejado en los datos, esta vez coincide.

Y la tendencia, aunque sea redundante, tendrá un carácter igual que las anteriormente mostradas, siendo esta:

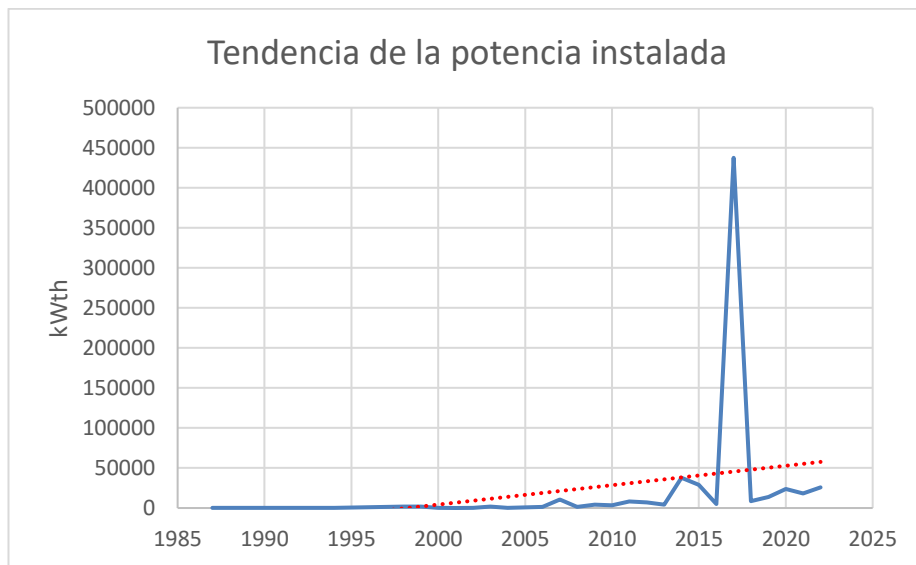


Figura 60: Tendencia de la potencia instalada por año. [20]

Como se puede ver a primera vista, esta última figura coincide exactamente con la mostrada en la figura 54.

Se intentó realizar un análisis en función de las temperaturas de proceso, pero no todos los datos de las instalaciones tenían este dato, por tanto, no se podía realizar el análisis completo de este parámetro, por eso se desechó en última instancia.

Una vez realizados estos tres análisis con respecto a las plantas existentes dentro de la base de datos que se ha usado de apoyo. Se puede mostrar la siguiente figura 61:

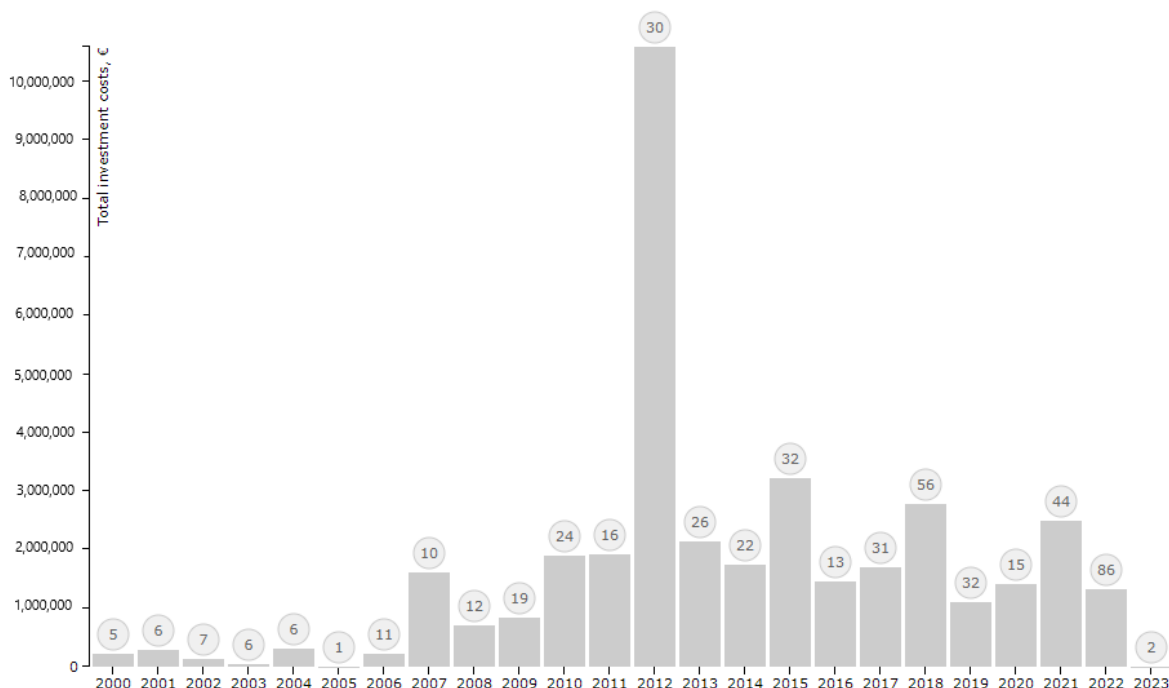


Figura 61: Inversión en millones de euros desde al año 2000 plantas térmicas. [19]

Como se puede apreciar, esta gráfica, al igual que la primera que se mostró al comienzo de este apartado, va tan solo desde principio de siglo a nuestros días, ya que si lo mostramos todo no se aprecian bien las cantidades. Además, las cantidades precedentes al 2000 en comparación a las más actuales, aunque son importantes, las consideraremos “despreciables”. Las cantidades, como se aprecian en el eje vertical, están medidas en millones de euros de inversión.

Centrándonos en las cantidades que se ven reflejadas y que están extraídas de la misma base de datos que todos los datos mostrados en este apartado, se puede apreciar que el año que más inversiones hubo fue el año 2012, sobre todo debido al proyecto llamado “Prestage Foods” ubicado en Carolina del Norte tasado en 7,5 millones de € aproximadamente. Aunque no se puedan asegurar que los datos sean reales al 100% debido a que no destacan los datos del proyecto Miraah, que es el más considerable de todos, sí que podemos ver, al igual que antes que a medida que han aumentado todas las recomendaciones internacionales en relación con las medidas de medioambientales, han aumentado considerablemente los números de plantas proyectadas y, con estos, los metros instalados y los millones invertidos.

Todo esto va en relación, a su vez, con el coste de los materiales utilizados o de la tecnología relacionada con ella. Así, con esto mencionado, se muestra la figura 62, obtenida de la web oficial del IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). Aunque los datos que se muestran a continuación no están desde hace tanto tiempo como estas gráficas, sí que son de la última década y, aun así, se puede apreciar perfectamente cómo está avanzando los precios de las tecnologías solares:

Aunque las tecnologías que se muestran en la figura 62 no son exactamente las que estamos analizando, sí que se puede hacer una primera idea del ritmo que están tomando estas tecnologías en cuanto a costos de instalaciones, llegando a reducirse un 40% aproximadamente de los costes de producción de la tecnología termosolar desde principios de 2010, habiendo rebajado desde los comienzos de estos tipos de planta a finales del siglo pasado seguramente casi un 100% del coste de partida de la primera planta que se creó.

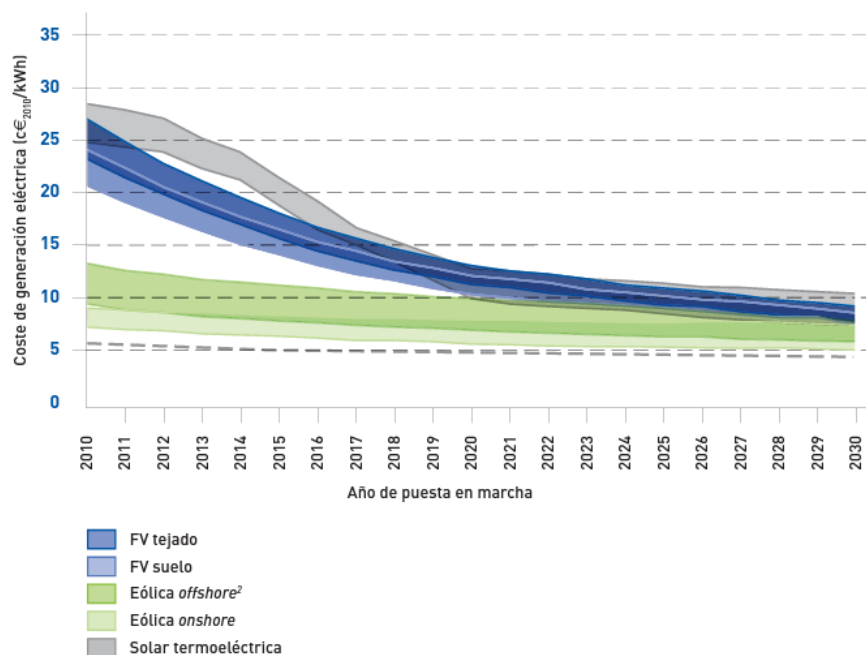


Figura 62: Evolución del coste de las tecnologías renovables.

Aun así, para el caso de la tecnología solar, el coste (o la inversión de la planta) viene determinado en función de la tecnología empleada (sin cristal, con tubo de vacío, etc.), según sea tecnología cilindroparabólica o concentradores de torre, etc.

3.2.1 Proyecto Miraah (Omán).

En este subapartado analizaremos con más detalles el proyecto más importante de los que se han mencionado

antes, que se trata del proyecto Miraah, ubicado en Omán.

Llegados a este punto del proyecto, ya debe de ser conocido previamente que la mayoría de los países del Medio Oriente y, especialmente, los países del golfo árabe se encuentran entre los principales productores de productos derivados del petróleo debido a la disponibilidad geográfica de abundantes reservas de petróleo y gas. A pesar de estos recursos, la mayoría de estos países productores de petróleo están diversificando sus fuentes de energía a través de inversiones cuantiosas en la producción de energía a través de energía renovables. Actualmente, Irán y Turquía han hecho contribuciones significativas, principalmente en la producción de energía solar, eólica y geotérmica en la región. Los Emiratos Árabes Unidos (EAU), a través del instituto de Masdar están invirtiendo activamente en proyectos de energía renovables (como, por ejemplo, la creación de la ciudad de Masdar neutral en carbono, proyecto bastante futurista) y programas innovadores de investigación de energía solar. Omán tiene una abundancia de varios potenciales y perspectivas de recursos de energía renovable (por ejemplo: eólica, solar, geotermia y biogás) que no se han explorado adecuadamente por el momento. Estos recursos son bastante importantes para lograr la futura seguridad energética de Omán y, al mismo tiempo, contribuir al crecimiento sostenible a través de políticas sólidas y el uso de tecnologías avanzadas de energía renovable, ya que el futuro de todos los países dependientes de las fuentes de energía convencionales es bastante difuso.

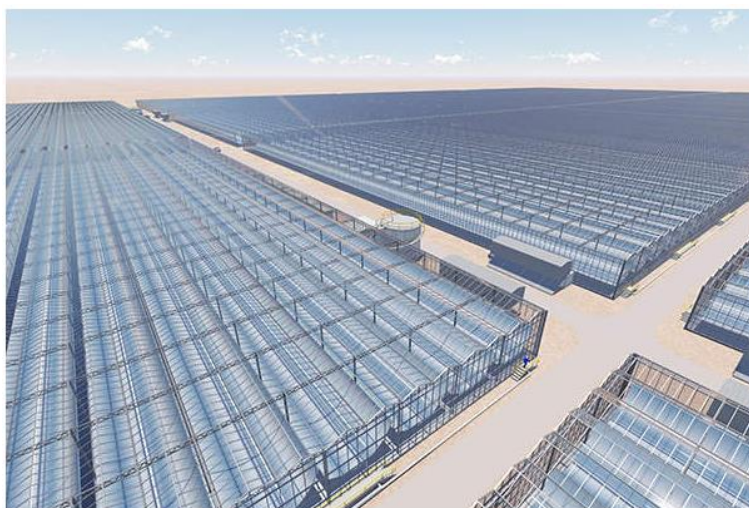


Figura 63: Planta termosolar Miraah [18].

Omán ha expresado un gran interés en la explotación de energías renovables, como ya se ha comentado debido a la abundante disponibilidad de estos recursos en el propio país. Además, este país posee una de las mayores capacidades de radiación solar del mundo (siendo aproximadamente de $6,1 \frac{kWh}{m^2}$).

Además, la eólica y la geotérmica también son recursos prometedores del país, especialmente para las provincias del norte de este país (en la figura 64 se muestran como quedarían distribuidas las energías renovables en el país en cuestión, para que nos hagamos una visión general ya que se han mencionado).

Como se puede apreciar en la imagen que viene a continuación, este país, al ser mucho más rico en recursos solar que España y hay en todo el territorio, se puede apreciar a simple vista que podemos encontrar plantas solares a lo largo de todo el país. En cambio, en nuestro país, aunque también es rico en recurso solar, las plantas sí que se sitúan en la parte sur del país.

A pesar de todos estos recursos variados, tan solo se han explorado capacidades limitadas desde 2013, en la figura 65 podemos observar cómo han ido evolucionando desde 2013 a 2017 dos variables: por un lado, las capacidades totales de energía renovable (TREC: Total renewable energy capacity) y las producciones (TREP: total renewable energy production) del país.

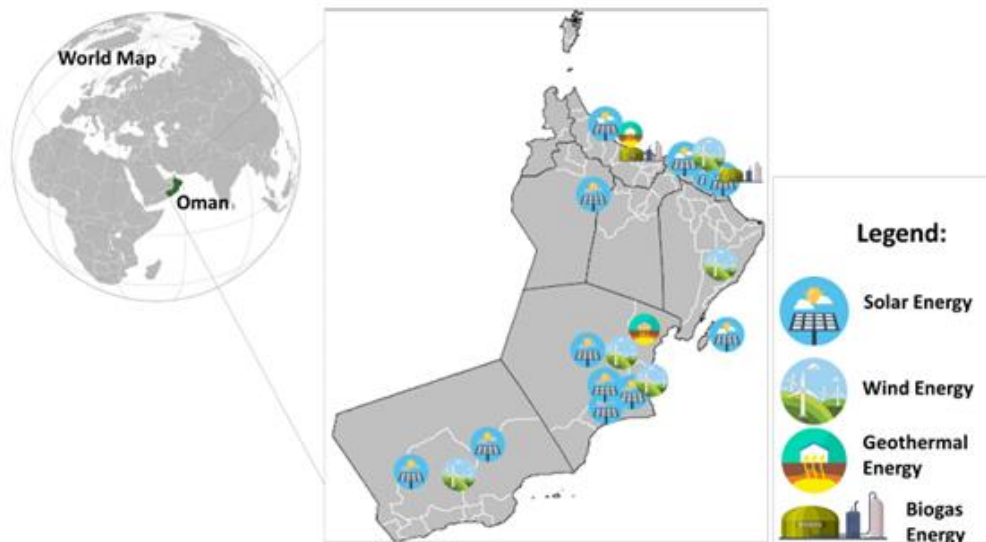


Figura 64: Distribución de las energías renovables en Omán.

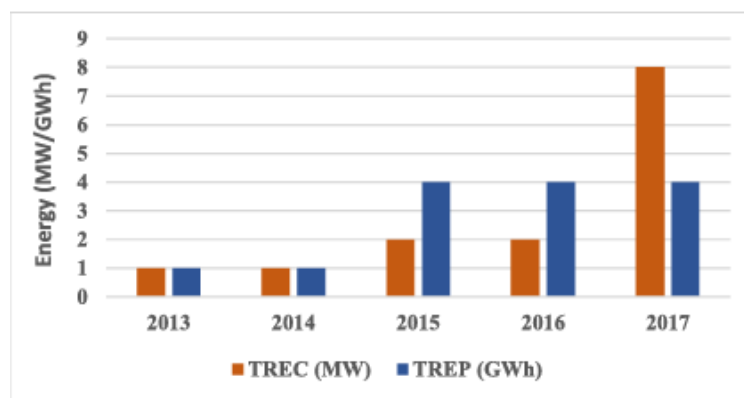


Figura 65: Capacidades totales de energía renovable (TREC) y producciones (TREP) de Omán [18].

Se puede observar que Omán ha demostrado un nivel de desempeño constante hablando de esos términos y que estos mismos van desde 1 a 2 MW y de 1 a 4 MW desde 2013 a 2016. Sin embargo, en 2017 se descubrieron varios recursos de energía renovable con los que realizaron alteraciones en estos valores, el TREC se elevó hasta 8MW y el TREP a 4 GW. Siendo estos datos de hace 5 años y el artículo del año pasado, estos mismos valores comentados pueden haberse vistos modificados posteriormente.

Hablando en términos de la energía solar, Omán está dotado de una enorme cantidad de recursos de energía solar en varias partes del país. Un estudio mostró que, a partir de 1986 las radiaciones mínimas y máximas han sido de 1640 y 2200 $6,1 \frac{kWh}{m^2/mes}$. Estos niveles de intensidad han sido muy altos y ocurren en más de 342 días del año. Por lo tanto, durante la temporada de invierno, donde los niveles de radiación solar son, generalmente, bajos a escala global, se informa que en Omán es uno de los países que tiene los niveles más altos de radiación solar durante esta temporada en todo el mundo. [5]

Así, la empresa Petroleum Development Oman (PDO), la empresa líder en explotación y producción en el sultanato de Omán, y GlassPoint Solar, proveedor líder de energía solar para la industria petrolera, inauguraron la planta solar Miraah. Esta planta, ubicada en el yacimiento petrolífero de Amal en el sur del país, está entre los proyectos más grandes del mundo cuando se complete.

A fecha de 2018 se habían construidos cuatro bloques de la planta de manera segura y a tiempo con producción de vapor integrado con la red Amal. Este proyecto está destinado a generar 1.021 MWth y producirá una cantidad

de 6.000 toneladas de vapor solar cada día y un total de un gigavatio de energía termosolar.

Una vez completada, la instalación de 1 gigavatio constará de 36 bloques construidos en una secuencia, lo que permite que PDO se beneficie ahora del vapor solar y aumente gradualmente la producción con el tiempo para satisfacer la demanda de vapor del yacimiento petrolífero de Amal. El proyecto estaba en caminos de entregar ocho bloques adicionales a principios del 2019. [18]

3.2.2 Proyecto “Sundrop Farm” (Australia).

Aunque no tan importante como el anterior, este proyecto se sitúa como el segundo proyecto termosolar más grande del planeta y, por tanto, no podía quedarse sin comentar.

Sundrop Farms es la primera solución agrícola sostenible de vanguardia en el mundo. Está liderando el camino para satisfacer la demanda de alimentos en un futuro. Este proyecto que estamos mencionando se basa en invernadero de 20 hectáreas utiliza tecnología solar térmica para generar productos sostenibles durante todo el año.

Port Augusta, situada en el sur de Australia, disfruta de 300 días de sol al año y esta energía ahora se está aprovechando y concentrando para producir 16.000 toneladas de tomates al año para Coles. El primer invernadero solar de 20 hectáreas del mundo de 175 millones operado por Sundrop Farms.

El proyecto vio la construcción de una primera instalación de última generación en el mundo que utiliza tecnología termosolar concentrada para generar productos frescos de manera sostenible durante todo el año en un entorno semiárido. Lo hace aprovechando y concentrando la energía del sol para desalinizar el agua del mar y producir agua dulce para riego, calentar en forma de agua caliente almacenada para controlar la temperatura de los cultivos y producir electricidad para alimentar las instalaciones.

Estas soluciones de vanguardia están diseñadas para satisfacer las futuras demandas de alimentos y sería transferible a muchos otros lugares del mundo donde la agricultura convencional no es posible debido a la escasez de precipitaciones y la mala infraestructura eléctrica. [6]



Figura 66: Invernaderos de Sundrop Farm.[15]

La tecnología utilizada es de captadores CSP. El sistema proporciona múltiples flujos de energía (calefacción, desalinización, electricidad, vapor, refrigeración) a través de un sistema libre de carbono. Esta planta consta de más de 23.000 heliostatos, los cuales recogen los rayos del sol y los reflejan en lo alto de una torre solar. La concentración de energía genera altas temperaturas que se utilizan para calentar invernaderos.

Esta planta llega a producir unos 20.000 MWh de calor al año, que se utiliza para proporcionar agua dulce mediante la desalinización de agua de mar (aproximadamente $250.000 \frac{m^3 \text{ de agua}}{\text{año}}$) y para hacer funcionar periódicamente una turbina de vapor para producir electricidad ($1.700 \frac{MWh \text{ de electricidad}}{\text{año}}$)



Figura 67: Planta Sundrop Farm [15]

En la figura 67 vemos como se distinguen las partes de la instalación perfectamente, por una parte vemos el campo de captadores solares (que serán los encargados de recoger la energía solar), la torre de concentración (donde será recogida tal energía térmica) y por otra parte la parte asociada al proceso industrial, que será el que se beneficie de todo este proceso.

La construcción general comenzó en diciembre del año 2014 y fue finalizada en 2016. [15]

3.2.3 Codelco Gabriela Mistral (Chile).

Esta instalación de la que vamos a hablar, la planta de Codelco Gabriel Mistral en Chile se sitúa como la tercera planta solar aplicada a la industria de mayor tamaño de la BBDD usada. La planta Pampa Elvira solar (PES) que se encuentra emplazada en división Gabriela Mistral, ganó la categoría Fuego del Primer Premio Nacional en Sostenibilidad organizada por la Fundación Recyclápolis. Este concurso tiene como objetivo destacar los esfuerzos en sostenibilidad que realizan las empresas chilenas para promover las nuevas tendencias ambientales. (Imagen aérea en la figura 68)



Figura 68: Planta minera Codelco Gabriel Mistral.[21]

La planta de la que estamos hablando abastece de energía solar térmica a la división mencionada a través de una planta de un tamaño de 44.000 m^2 construida por 2.928 paneles solares, aportando todos ellos un total de 54.000 MWh/año , desplazando el 80% del combustible fósil actualmente, utilizado para el funcionamiento de las naves de electrowinning.

Gracias a esta instalación, la planta minera deja de emitir aproximadamente un total de 15 mil toneladas al año de CO_2 , así como minimizar otras fuentes de contaminación asociadas a la quema de combustible fósil, llegando a ahorrar un camión de diésel al día. La planta produce en total un ahorro equivalente al 15% del costo total que tiene suministrar calor a la planta. [21]

3.2.4 Planta solar grupo Cosentino (Almería, España).

Como último ejemplo mostrado se va comentar un ejemplo nacional. En este caso, aunque este proyecto no esté registrado en la base de datos de la página mencionada (que es de donde hemos todos los datos mostrados) no se debería de cerrar este estudio sin mencionar esta instalación.

A finales del pasado año, el grupo empresarial Cosentino puso en marcha la instalación solar aplicada a una industria con mayor extensión en España y, de las mayores de Europa. Esta instalación está ubicada en los términos municipales de Partalao y Cantoria dentro del parque industrial que tiene la multinacional en Almería.

Para que se pueda apreciar el tamaño de la instalación, se muestra una vista aérea de la planta en la figura 69.



Figura 69: Instalación solar de la empresa Cosentino en Almería. [16]

Cosentino ha puesto en marcha una instalación con una extensión que abarcará más de 40 hectáreas de superficie, donde se han colocado una cantidad aproximada de 37000 captadores solares de 540W cada una.

Con este proyecto, la empresa misma establece un nuevo modelo de gestión eléctrica renovable en el ámbito industrial dentro de nuestro país. La instalación tendrá una potencia de más de 20MW pico, generando aproximadamente 34.000 MWh anuales, suponiendo un 25% del consumo anual de la industria completa.

El proyecto, enmarcado en la estrategia de descarbonización 2030-2050 de la compañía almeriense, no solo contribuirá a reducir su huella de carbono, fortaleciendo el bajo impacto de alcance 2 al reducir la dependencia de compra de renovables del Pool energético español, sino que también combinará una iniciativa de recuperación de la biodiversidad. De esta forma, 15 hectáreas anexas al parque solar estarán dedicadas a un proyecto de biodiversidad en base a la plantación de flora y especies autóctonas. [16]

4 RESUMEN Y CONCLUSIONES

En este último apartado, además de las conclusiones que se han obtenido de este análisis, se podrá ver un resumen general del trabajo finalizado además de unas conclusiones personales que ha obtenido el redactor tras haber revisado toda la documentación presentada.

4.1 Resumen.

En primer lugar, hay que mencionar que este trabajo se ha basado en realizar (tal y como indica el nombre del propio trabajo) un análisis de todas las plantas de producción solar aplicadas a procesos industriales. En el primer capítulo del trabajo se ha comenzado explicando cómo están las tecnologías y la energía renovables en general en el mundo, mostrando un panorama actual donde se atacan ciertos puntos que pueden ser interesantes. Seguidamente se explica lo que es el concepto del recurso solar y se efectúa una introducción a la energía solar térmica aplicada a un proceso industrial, incluyendo algunos de estos sectores industriales a los cuales se les ha y se le pueden introducir estas tecnologías termosolares. Para cerrar este primer capítulo se muestra el análisis bibliométrico de la documentación utilizada, que centra básicamente en explicar cómo se ha filtrado la información desde la base de datos que se ha utilizado para poder realizar este trabajo.

En segundo lugar, se comienza a describir qué es un sistema de energía térmica, la tecnología solar usada para la captación, distribución y producción de energía, cuáles son los principales componentes de esta tecnología y las distintas disposiciones que tendrían en cuanto a conexiones dependiendo del tipo de sistema que estemos tratando. En este punto cabe decir que no se explica todo lo que existe sobre los sistemas de energía solar térmicos aplicados a la industria, sino tan solo los más utilizados, que son los que se utilizan en las instalaciones donde se han podido realizar los análisis del tercer punto.

Con respecto al tercer y último apartado, se realiza un análisis detallado de una base de datos que recaba todas (o casi todas) las plantas solares asociadas a procesos industriales conocidas. De todas ellas, se obtiene un análisis de la cantidad de las plantas que hay por tipo de captación, año de instalación y potencia instalada para ver cómo ha evolucionado esta tecnología desde finales del siglo pasado a nuestros días. En este análisis se puede apreciar la tendencia creciente de las industrias a acoplar cada vez instalaciones mayores a sus procesos industriales con el fin de sustituir esa energía térmica que antaño, únicamente se obtenía quemando combustibles fósiles para obtenerlos de una manera verde y sostenible. Además, en este capítulo también se mencionan algunas de las plantas con sistemas de energía solar térmicos más grandes para mostrar, en ciertos casos, el aporte que le beneficia al proceso industrial.

Como resumen de un futuro trabajo, (y todo lo que hay), hay que destacar que, sin ninguna duda, el mundo se encuentra en una situación bastante favorable en cuanto a las tecnologías renovables y en especial, a las tecnologías solar debido a muchísimos motivos: la destrucción de la capa de ozono, la previsión de la finalización de combustibles fósiles, la subida de costes debido a adversidades ajenas a las industrias (guerras, desastres naturales, etc.), los acuerdos nacionales firmados (como, por ejemplo, el acuerdo de París), etc. Por tanto, desde el punto de vista de muchos expertos, el mundo se encuentra en un punto álgido para invertir y apostar por tecnologías solares y, sobre todo, en países como el que nos encontramos que se encuentra bajo el cinturón solar, tiene que invertir en tecnología termosolar.

Por último, para concluir con este apartado, hay que remarcar que este análisis es sólo un análisis superficial. Hay muchísima información que podría ser complementaria a toda la que en este trabajo se ha expuesto. Una manera de cumplimentar este trabajo sería realizar un análisis de cómo ha sido la evolución de los precios de los elementos que componen estos tipos de instalación o, por otro lado, el impacto que tienen estas plantas en el medioambiente: la contaminación que conlleva la producción de las piezas frente a las emisiones que “ahorran” si para la misma producción de energía se produjera quemando cualquier combustible (carbón, diésel, gas natural, etc.).

4.2 Conclusiones.

Para comenzar, hay que mencionar que los análisis realizados pueden dar a entender dos puntos de vista con respecto al crecimiento de las instalaciones solares en la industria. Los dueños de las fábricas industriales actualmente se enfrentan a dos cosas: a tener una producción grande (más producción debido al aumento general del consumo) para generar dinero sin tener que contaminar mucho, ya que en caso de hacerlo (el hecho de emitir grandes cantidades de CO₂), podrían tener sanciones de distintos tipos y, por otro lado, al de intentar ahorrar costes en producción. Por lo tanto, una instalación de estas características se presenta como una solución muy eficaz para afrontar esos dos conflictos mencionados.

Por último, en relación con las distintas instalaciones térmicas existentes que se han mostrado en el último capítulo. Como se puede apreciar de primera mano, se han elegido estas porque, además de ser instalaciones considerables en cuanto a importancia como a extensión, cada una de ellas están asociadas a distintos procesos industriales, mostrando con esto la gran polivalencia en cuanto a acople que puede tener este tipo de tecnologías.

Con el último ejemplo, ya que, además es el más cercano, se puede apreciar lo que supondría una instalación de estas características. Puede ser que, aunque a la hora de querer adquirir una instalación de estas, de primeras pueda resultar “cara” en cuanto a aspectos económicos al invertir, se puede ver que le va a suponer una reducción del 20% del consumo de combustibles fósiles anuales. Esto actualmente, viendo cómo está el planeta, puede resultar un beneficio enorme, ya que los precios oscilan mucho y, por desgracia, oscila siempre en dirección ascendente. Un conflicto como puede ser el de la guerra de Rusia podría suponer un incremento en los precios suficiente como para plantearse hacer como la empresa de Cosentino e invertir en una instalación solar térmica.

En cuanto al análisis realizado de las instalaciones solares obtenido de la página mencionado en ese apartado, podemos sacar las siguientes conclusiones:

La primera planta registrada de nuestra base de datos, datada en el año 1987, se trata de una instalación ubicada en Portugal llamada “Knorr Best Foods S.A”, la instalación en cuestión utilizó una planta con tecnología de captadores solares planos. Esta instalación, al ser pionera, seguramente no conocería todos los detalles de lo que la energía solar podría aportarle a una instalación industrial. Esto hace que el lector se replantee un tema importante: si ellos (los dueños de la industria), que no conocían con exactitud todas las ventajas de esta tecnología porque aún no era madura y que, además, los costes eran mucho más elevados que actualmente, ¿por qué actualmente, los dueños de las industrias que están en auge y están más que consolidadas, no invierten más y no adaptan estos tipos de tecnologías a sus plantas?

Por otro lado, en cuanto a la tecnología de captación solar que se ha utilizado a lo largo de los años, la tecnología de “captadores solares planos” son las que más se han usado, sumando un total de 147 instalaciones (siendo un 50% aproximadamente de los totales instalados alrededor del mundo). Esto podría deberse a que además de ser uno de los tipos de captadores más desarrollado, por tanto, tiene una tecnología ya más que demostrada, se trata también de la tecnología más económica en comparación con las demás. Esta tecnología mencionada, comienza a tener su auge a partir del 2007, momento en el cual empieza a despuntar y a alejarse (en cuanto a número de instalaciones) con respecto a los demás tipos de tecnologías. Además de este tipo, las que lo siguen son las de tipo “captadores de vacío” y las de “captadores de aire” con un total de 52 y 33 instalaciones respectivamente.

Aun habiendo comentado este último dato, la tecnología de captadores solares planos no es la más instalada en cuanto a superficie. La tecnología de captación con mayor superficie bruta instalada, la cuarta posicionada en cuanto a instalaciones, es la tecnología cilindroparabólica, que representa un total del 72.12% de la superficie total registrada en la base de datos mencionada. Esto es debido a que en 2017 se puso en marcha la construcción de la mayor planta conocida, la planta solar de Miraah en Omán, destinada a la extracción de petróleo, como ya se ha comentado. Por el contrario, la tecnología de captadores planos tiene un tercio de la superficie instalada de captadores cilindroparabólicos.

Cierto es, que queda mucho por avanzar, desde el abaratamiento de los costes de la tecnología como el avance en crear almacenamientos que mitiguen el problema de la dependencia climática, pero hay que confiar en que el mundo haga un esfuerzo importante para avanzar en la dirección del desarrollo de esta tecnología para poder beber de ella y separarse de la antigua dependencia de los combustibles.

REFERENCIAS

- [1] L. Kumar, M Hasanuzzaman, N.A. Rahim « Global advancement of solar thermal energy technologies for industrial process heat and its prospects: A review», *Energy Conversion and Management*, 2019
- [2] R. Kumar, K. Chaitanya, S. Kumar « Solar thermal energy technologies and its applications for process heating and power generation – A review», *Journal of Cleaner Production*, 2021.
- [3] S. Hisan, N. Huda, M.A. Parvez, R. Saidur « Solar process heat in industrial system – A global review», *Renewable and Sustainable Energy Review*, 2018
- [4] J. Gil, A. Topa, J.D. Álvarez, J.L. Torres, M. Perez. « A review from design to control of solar system for supplying heat in industrial process applications», *Renewable and Sustainable Energy Review*, 2022
- [5] S. Hisan, N. Huda, M.A. Parvez, R. Saidur , «Solar process heat in industrial system - A global review» *Renewable and Sustainable Energy Review*, 2018
- [6] T. Eglinton, J. Hinkley, A. Beath, M. Dell’amico « Potential application of concentrated solar thermal technologies in the Australian minerals processing and extractive metallurgical industrial», *The Minerals, Metals & Materials Society*, 2013
- [7] A.R. Eswara, M. Ramakrishnarao « Solar energy in food processing – a critical appraisal». *Association of Food and technologist*, 2013
- [8] M. Imran, F. Asfand, S. Al-ghamdi « Progress in research and technological advancements of thermal energy storage systems for concentrated solar power», *Journal of Energy Storage*, 2022
- [9] C. Huang, R. Madonski, Q. Zhang, Y. Yan, N. Zhang, Y. Yang «On the use of thermal energy storage in solar-aided power generation system» *Applied Energy*, 2022
- [10] W. Steinmann « Chapter 11 - Thermal energy storage systems for concentrating solar power plants», *Woodhead Publishing Series in Energy*, 2021
- [11] A. Franco « Methods for the sustainable design of solar energy system for industrial process heat»
- [12] K.J. Khatod, V.P. Katekar, S.S. Deshmukh « An evaluation for the optimal sensible heat storage material for maximizing solar still productivity: A state-of-the-art-review», *Journal of Energy Storage*, 2022
- [13] IDEA « Guía de Energía Solar Térmica para Procesos Industriales», *Instituto de la construcción de Castilla y León*, 2022.
- [14] Elsevier « Sciencedirect», [Último acceso: 2023].
- [15] ISSUU « Sundrop Farm project» [En línea]. [Último acceso: 2023].
- [16] Web Cosentino [En línea]. [Último acceso: 2023]
- [17] AEE INTEC « Matriz of industrial process indicators». [Último acceso: 2023]
- [18] Solarpaces [En línea]. [Último acceso: 2023].
- [19] SEP « SHIP plants» [En línea]. [Último acceso: 2023].
- [20] Creación propia.
- [21] Web Codelco [En línea]. [Último acceso: 2023].
- [22] J. Guerra « Apuntes de clase»
- [23] H. Martín «Análisis del almacenamiento de energía en un Sistema Sólido. », TFG, 2021
- [24] IDEA « Web oficial» [Última conexión: 2023]
- [25] C.A. Schoeneberg, C.A. Mcmillan, P. Kuruv « Solar for industrial process heat: A review of technologies, analysis approaches and potential applications in the US», *Energy*, 2020