

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

Revisión del estado actual de las aplicaciones de energía solar de baja y media temperatura en procesos industriales

Autor: Juan Tirado Pérez

Tutor: D. José Julio Guerra Macho

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

Sevilla, 2018



Trabajo Fin de Máster
Máster Habilitante en Ingeniería Industrial

Revisión del estado actual de las aplicaciones de energía solar de baja y media temperatura en procesos industriales

Autor:

Juan Tirado Pérez

Tutor:

D. José Julio Guerra Macho

Catedrático de Universidad

Dep. de Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018

Trabajo Fin de Máster: Revisión del estado actual de las aplicaciones de energía solar de baja y media temperatura en procesos industriales

Autor: Juan Tirado Pérez

Tutor: José Julio Guerra Macho

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

Agradecimientos

A mi abuela Paquita.

A mis padres y a mis hermanos.

A mis amigos.

A mi tutor, Don José Guerra.

¡Muchas gracias a todos, de corazón!

Juan Tirado Pérez

Noviembre de 2018

Índice

Agradecimientos.....	5
Índice	6
Índice de Tablas	9
Índice de Figuras	10
1 Introducción.....	13
1.1 <i>Acuerdo de París. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.</i>	13
1.2 <i>Nuevos escenarios</i>	15
1.2.1 Escenario basado en las nuevas políticas.....	15
1.2.2 Escenario basado en las políticas actuales	15
1.2.3 Escenario de descarbonización	15
1.3 <i>Un futuro incierto</i>	16
1.4 <i>...Pero basado en las renovables</i>	17
1.5 <i>Energía solar térmica</i>	19
1.6 <i>Contenido del trabajo</i>	21
2 Procesos térmicos en la industria	22
2.1 <i>Clasificación</i>	22
2.2 <i>Sistemas de la instalación industrial</i>	23
2.2.1 Sistema de generación térmica:	23
2.2.2 Sistemas de distribución:.....	24
2.2.3 Sistema de almacenamiento:	25
2.2.3.1 Almacenamiento de calor sensible (SHTES):.....	25
2.2.3.2 Almacenamiento de calor latente (LHTES):.....	26
2.2.3.3 Almacenamiento termoquímico:	26
2.2.4 Sistemas de transferencia de calor.....	27
2.2.4.1 Intercambiadores externos:	27
2.2.4.2 Intercambiadores internos	28
2.2.4.3 Sistemas de calentamiento directo	28
2.2.4.4 Evaporadores y secaderos	28
2.3 <i>Temperaturas de trabajo</i>	29
2.3.1 Procesos térmicos a baja temperatura $T < 100\text{ }^{\circ}\text{C}$:.....	29
2.3.2 Procesos térmicos a media temperatura $100\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 400\text{ }^{\circ}\text{C}$:.....	29
2.3.3 Procesos térmicos a alta temperatura $T > 400\text{ }^{\circ}\text{C}$	30
2.4 <i>Sectores y procesos</i>	30
3 Sistemas de energía solar térmica en la industria	32

3.1	<i>Introducción</i>	32
3.2	<i>Tecnologías en uso</i>	33
3.2.1	Calentador solar de aire.....	33
3.2.2	Captadores solares	35
3.2.2.1	Clasificación en función del rango de temperaturas.....	35
3.2.2.1.1	Sistemas térmicos solares para baja temperatura (<150 ° C)	35
3.2.2.1.2	Concentradores solares para temperatura media y alta (150 ° C en adelante) 38	
3.2.2.2	Consideraciones adicionales.....	42
3.2.2.3	Fluidos de trabajo	43
3.2.2.4	Conclusiones	43
3.2.3	Frío Solar	45
3.3	<i>Integración en procesos industriales</i>	46
3.3.1	Integración a nivel de suministro	47
3.3.1.1	Integración a nivel de suministro con vapor	48
3.3.1.1.1	Generación solar directa de vapor	49
3.3.1.1.2	Generación indirecta solar de vapor.....	49
3.3.1.1.3	Pre calentamiento de agua de alimentación de la caldera	50
3.3.1.1.4	Pre calentamiento de agua de reposición	51
3.3.1.2	Integración a nivel de suministro con fluido caloportador	51
3.3.1.2.1	Integración directa a nivel de suministro con fluido caloportador 52	
3.3.1.2.2	Integración en serie a nivel de suministro con fluido caloportador 52	
3.3.1.2.3	Energía solar térmica para depósitos y cascadas	53
3.3.2	Integración a nivel de procesos	54
3.3.2.1	Integración a nivel de procesos mediante intercambiador externo... 55	
3.3.2.1.1	Integración de energía solar térmica para un producto o procesos mediante intercambiador externo	55
3.3.2.1.2	Integración de energía solar térmica en un circuito intermedio de agua mediante intercambiador externo	56
3.3.2.1.3	Integración de energía solar térmica para el calentamiento de baños, maquinaria o tanques empleando intercambiador externo.....	57
3.3.2.1.4	Integración de energía solar térmica para el calentamiento de flujos de entrada empleando intercambiador externo	58
3.3.2.2	Integración a nivel de procesos con intercambiador interno	59
3.3.2.3	Integración a nivel de procesos con vapor y presión reducida.....	59
3.3.2.3.1	Integración a nivel de procesos para la generación de vapor en vacío.....	59
3.3.2.3.2	Integración a nivel de procesos para la generación de vapor a baja presión.....	60

4	Procesos y sectores potenciales.....	61
4.1	<i>Procesos dominantes.....</i>	61
4.1.1	Calentamiento de agua.....	62
4.1.2	Procesos de secado.....	63
4.1.3	Procesos de precalentamiento.....	63
4.1.4	Procesos de producción de vapor.....	64
4.1.5	Procesos de pasteurización y esterilización.....	64
4.1.6	Procesos de lavado y limpieza.....	65
4.2	<i>Sectores potenciales.....</i>	66
4.2.1	Industria del automóvil.....	66
4.2.2	Industria cervecera.....	66
4.2.3	Industria alimentaria.....	67
4.2.4	Industria papelera.....	68
4.2.5	Industria farmacéutica.....	69
4.2.6	Industria textil.....	69
4.2.7	Procesado de minerales.....	70
4.2.8	Industria química.....	71
4.2.9	Agricultura.....	71
4.2.10	Industrial del cuero.....	72
4.2.11	Industria metálica.....	72
5	Planta solar térmica Miraah.....	73
5.1	<i>Introducción.....</i>	73
5.2	<i>Métodos térmicos de recuperación mejorada.....</i>	74
5.2.1	Procesos de recuperación.....	74
5.2.2	Procesos de recuperación térmica.....	76
5.2.3	Procesos de recuperación térmica mediante inyección de vapor.....	77
5.2.3.1	Inyección cíclica de vapor.....	77
5.2.3.2	Inyección continua de vapor.....	78
5.3	<i>Tecnología solar aplicada.....</i>	79
5.4	<i>Desarrollo del proyecto y situación actual.....</i>	83
6	Resumen y conclusiones.....	87
7	Bibliografía.....	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Tecnologías de generación	24
Tabla 2 - Características de captadores	42
Tabla 3 - Fluidos de trabajo	43
Tabla 4 - Integración de los sistemas de energía solar térmica en la industria	47
Tabla 5 - Integración a nivel de suministro	48
Tabla 6 - Integración a nivel de procesos	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Estado actual del Acuerdo de París [1]	13
Figura 2 - Trayectorias del PIB, energía primaria demandada y emisiones de CO2	16
Figura 3 - Demanda de energía por región en el Escenario de Nuevas Políticas y MGTV	17
Figura 4 - Energía global primaria en el Escenario de Nuevas Políticas en 2040	18
Figura 5 - Evolución de la potencia instalada en un Escenario 250	18
Figura 6 - Energía primaria global consumida	20
Figura 7 - Sistema de combustión	22
Figura 8 - Horno de arco eléctrico	23
Figura 9 - Rendimientos globales de la cogeneración	24
Figura 10 - Sistema de distribución	25
Figura 11 - Almacenamiento de calor sensible	26
Figura 12 - Sistema de almacenamiento térmico	27
Figura 13 - Intercambiador de carcasa y tubo	28
Figura 14 - Secadero industrial	29
Figura 15 - Estimación de calor industrial demandado	30
Figura 16 - Sectores industriales y procesos con mayor potencial	31
Figura 17 - Origen de la energía consumida	31
Figura 18 - Captador solar de aire	34
Figura 19 - Captador Solar Plano	35
Figura 20 - Captadores de tubo de vacío	37
Figura 21 - Concentrador parabólico compuesto	39
Figura 22 - Captador lineal Fresnel	40
Figura 23 - Campo de helióstatos	41
Figura 24 - Plato Scheffler	41
Figura 25 - Generación solar directa de vapor	49
Figura 26 - Generación solar indirecta de vapor	50
Figura 27 - Precalentamiento de agua de alimentación de la caldera	50
Figura 28 - Precalentamiento de agua de reposición	51

Figura 29 - Integración directa en paralelo a nivel de suministro con fluido caloportador	52
Figura 30 - Integración en serie a nivel de suministro con fluido caloportador	53
Figura 31 - Integración en depósitos de agua caliente y cascada	53
Figura 32 - Integración de energía solar térmica para un producto o procesos con intercambiador externo	55
Figura 33 - Integración en un proceso de esterilización con autoclave	55
Figura 34 - Integración de energía solar térmica en un circuito intermedio de agua mediante intercambiador externo	56
Figura 35 - Integración en un proceso de pasteurización	56
Figura 36 - Integración de energía solar térmica para el calentamiento de baños, maquinaria o tanques empleando intercambiador externo	57
Figura 37 - Integración mediante intercambiador exterior en un proceso de galvanizado	57
Figura 38 - Integración de energía solar térmica para el calentamiento de flujos de entrada empleando intercambiador externo	58
Figura 39 - Integración de energía solar térmica para el proceso de escaldado en una granja de pollos	58
Figura 40 - Integración a nivel de procesos con intercambiador interno	59
Figura 41 - Integración a nivel de procesos para la generación de vapor en vacío	60
Figura 42 - Integración a nivel de procesos para la generación de vapor a baja presión	60
Figura 43 - Temperatura de trabajo en los procesos térmicos solares existentes	61
Figura 44 - Tipos de procesos de baja y media temperatura con energía solar térmica	62
Figura 45 - Sectores y procesos industriales con más potenciales para usos de ETS	62
Figura 46 - Industrias que trabajan con sistemas solares de calentamiento de agua	63
Figura 47 - Industrias que trabajan con sistemas de secado solar	63
Figura 48 - Industrias que trabajan con procesos de precalentamiento solar	64
Figura 49 - Industrias que trabajan con sistemas de producción solar de vapor	64
Figura 50 - Industrias que trabajan con sistemas solares de pasterización y esterilización	65
Figura 51 - Industrias que trabajan con sistemas solares para lavado y limpieza	65
Figura 52 - SHIP en la industria automovilística	66

Figura 53 - SHIP en la industria cervecera	67
Figura 54 - SHIP en la industria alimentaria	68
Figura 55 - SHIP en la industria papelera	68
Figura 56 - SHIP en la industria farmacéutica	69
Figura 57 - SHIP en la industria textil	70
Figura 58 - SHIP en la industria minera	71
Figura 59 - SHIP en la industria química	71
Figura 60 - SHIP en la agricultura	72
Figura 61 - SHIP en la industria del cuero	72
Figura 62 - SHIP en la industria metálica	72
Figura 63 - Tecnología Enclosed Trough	74
Figura 64 - Reservas mundiales de hidrocarburos	75
Figura 65 - Métodos térmicos de recuperación mejorada	75
Figura 66 - Porcentaje de fuel con posibilidad de recuperarse mediante EOR	76
Figura 67 - Fases en la inyección cíclica de vapor	78
Figura 68 - Proceso de inyección continua de vapor	79
Figura 69 - Diagrama de Enclosed Trough	80
Figura 70 - Planta piloto Miraah de 7 MW	81
Figura 71 - Esquema simplificado de la planta piloto	82
Figura 72 - Timeline de la construcción	83
Figura 73 - Toneladas de vapor introducidas al sistema por la planta piloto	83
Figura 74 - Funcionamiento de la planta frente al modelo previsto	84
Figura 75 - Transmisión del techo sucio y tras lavado	84
Figura 76 - Producción diaria de vapor	85
Figura 77 - Proyecto Miraah	85
Figura 78 - Sistema de captadores en la planta Miraah	86

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Acuerdo de París. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

Hoy en día, el sector de la energía vive una completa revolución. El Acuerdo de París sobre el cambio climático, que entró en vigor en el año 2016 y se puede observar en la Figura 1, incluye a la mayoría de los países consumidores de energía en el mundo y que representan prácticamente el total de las emisiones de gases invernadero en el mundo. Este acuerdo representa una señal clara de la determinación de los gobiernos del mundo para reducir las emisiones, principal causa del cambio climático que sufre el planeta.

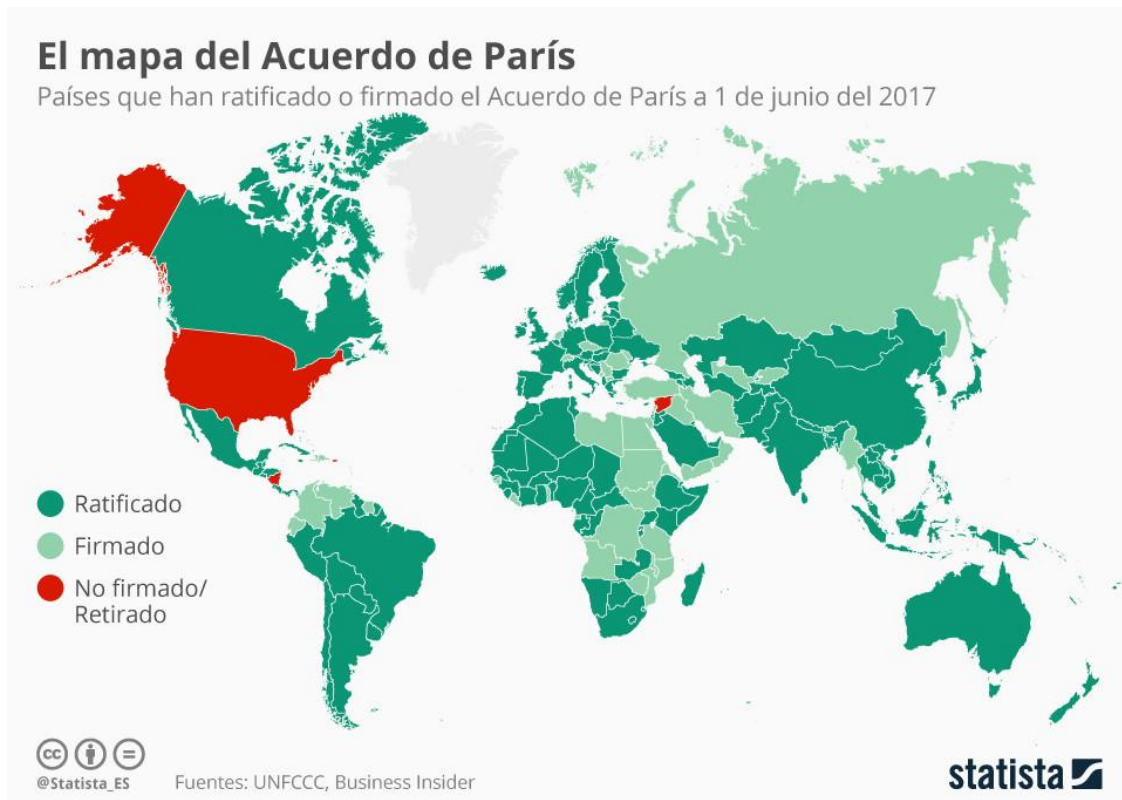


Figura 1 - Estado actual del Acuerdo de París [1]

Recientes estudios acerca de la producción y consumo en las principales industrias mundiales sitúan estos procesos como insostenibles debidos al aumento de las emisiones efecto invernadero y a la inestabilidad política que se vive en los países que abastecen al resto del planeta de combustible fósiles, haciendo posible una escalada de precios que hagan inviable la producción de energía a un precio adecuado.

Uno de los grandes objetivos propuestos se centra en una transición hacia un sistema energético más limpio y eficiente. Este hecho ha conllevado que la inversión en tecnologías con menos emisiones de carbono y más eficientes estén teniendo una influencia apreciable en las tendencias energéticas.

Según datos recopilados por la World Energy Outlook 2016, el incremento de capacidad de generación de energía renovable supero a la de combustibles fósiles, hecho que nunca se había producido anteriormente. Este hecho conlleva que las relaciones entre el aumento de actividad económica, el crecimiento de la demanda de energía global y las emisiones de gases efecto invernadero estén comenzando a debilitarse.

A pesar de que esta nueva transición energética está acarreado un importante avance, queda un largo camino por recorrer.

Es el sector eléctrico el que presenta un proceso menos tortuoso para la deseada reducción de los efectos invernaderos ya que los costes en relación a la energía solar, principalmente fotovoltaica, han caído entre un 40 y un 80 por ciento. A pesar de este importante abaratamiento, esta energía apenas supone un 1% de la generación eléctrica a nivel mundial.

En los sectores de uso final y energía primaria se ha produce un mayor apalancamiento de las tecnologías convencionales, debido a que son sistemas altamente estudiados, relativamente baratos y con gran capacidad de adaptarse a distintas situaciones.

La descarbonización de los sistemas de energía es una de las prioridades perseguidas por los gobiernos a nivel mundial. Unos de los principios firmados en el setenta aniversario de las Naciones Unidas reza acerca de “asegurar un acceso real, posible, moderno y sostenible a la energía para todos en el año 2030”. La ausencia de acceso universal a la energía, con alrededor de una de cada seis personas sin posibilidad de electricidad aumenta el riesgo de enfermedades pulmonares y respiratorias, al tener que emplear combustibles fósiles o biomasa.

Esto no es más que solo un ejemplo de inseguridad energética. Millones de personas sufren a diario cortes en el suministro eléctrico, comprometiendo actividades industriales, granjas, explotaciones mineras que causan importantes pérdidas económicas, fundamentalmente en países en vías de desarrollo. Todo esto unido a precios de energía desorbitados debido a los conflictos que afectan a países tradicionalmente exportadores de combustibles fósiles como Irak, Libia o Venezuela.

Son los gobiernos los que sitúan el precio de la energía como principal prioridad en tiempos de incertidumbre económica como en el que nos encontramos. El principal efecto es un aumento de la polución atmosférica debido al empleo de combustibles derivados del petróleo.

Sin embargo, los gobiernos y empresas tratan de financiar y financiar a corto y medio plazo nuevas energías favorables al medio ambiente.

Es el 1 de junio de 2017 el día en el que el presidente de los Estados Unidos, Donald Trump retira a su país del acuerdo “en pro de los intereses económicos de la nación”. Todo esto no hace más que reforzar el compromiso del resto de países que comunicaron que no se retirarían del acuerdo. Aun así, existe cierta preocupación por la reducción de la transferencia de tecnología y financiación internacional que supone la retirada de

EEUU en el proceso de transición energética.

1.2 Nuevos escenarios

La Agencia Internacional de la Energía, de aquí en adelante, IEA, desarrolla 3 escenarios posibles a futuro en función de las distintas políticas que se lleven a cabo, de la forma más o menos estricta con la que se aplique el Acuerdo de París y teniendo en cuenta posibles políticas internas desarrolladas por las grandes potencias.

1.2.1 Escenario basado en las nuevas políticas

Basado en los nuevos anuncios y planes gubernamentales, este escenario refleja la forma en la que los gobiernos, individualmente o en conjunto, ven desarrollarse sus sectores energéticos en las próximas décadas. Tomando como punto de partida las políticas y medidas ya tomadas, esta opción también teniendo en cuenta los objetivos metas e intenciones que se han anunciado incluso si todavía no se ha incluido en la legislación.

Para que este escenario tome forma, se toma como componente básico el Acuerdo de París, que proporciona una fuente de orientación rica y autorizada para este escenario.

Cuando persisten incertidumbres considerables, la medida y la rapidez con la que se cumplen los compromisos dependen de restricciones financieras, de mercado, de infraestructura o financiera. En estos casos, los objetivos que propone la IAE pueden cumplirse más tarde.

Por otro lado, también hay casos en los que la demanda de energía, las circunstancias macroeconómicas y las tendencias de costos llevan a los países a ser más ambiciosos en el sector energético aceleren este escenario.

1.2.2 Escenario basado en las políticas actuales

Describe un camino para el sistema energético mundial que no incluye la implementación de nuevas políticas o medidas más allá de las que ya cuentan con el respaldo de las instituciones en 2018. No se hacen concesiones para medidas adicionales, continuando con las medidas actuales hasta el horizonte 2020.

Estos posibles resultados constituyen el escenario con unas expectativas más baja, debido a que los compromisos actuales tienen un tiempo de implementación muy lento.

1.2.3 Escenario de descarbonización

El escenario de descarbonización tiene un enfoque muy diferente al de los anteriormente mencionados. El escenario basado en las políticas actuales y el escenario basado en nuevas políticas comienzan con ciertas suposiciones políticas que dirigen al sector energético hacia un determinado punto. El escenario de descarbonización parte de una cierta visión en el que cual debe terminar el sector energético, volviendo de ese

punto al presente. Este escenario, también llamado Escenario 450, tiene como fin limitar el aumento de la temperatura promedio global del planeta 2 grados por encima de los niveles preindustriales en 2100.

Este acuerdo ya fue mencionado en la convención que tuvo lugar en Cancún y en el que no hubo acuerdo y también se ha utilizado como criterio en los informes del panel intergubernamental sobre el cambio climático. Como tal, se ha convertido en un punto de referencia ampliamente reconocido para las políticas gubernamentales y las estrategias empresariales sobre el cambio climático

Este escenario se basa en las energías renovables, en particular de la eólica y solar para lograr las reducciones necesarias de CO₂ previstas.

En el pasado, este escenario se apoyaba en la mejora de las tecnologías de captura y almacenamiento de carbono, que evolucionan a ritmo lento en la práctica, lo que implica una restricción en su forma de crecimiento.

1.3 Un futuro incierto...

Las proyecciones que ofrece la IEA permiten observar diferentes trayectorias tanto para el PIB mundial, la energía primaria demandada y las emisiones de CO₂ desde 2015 en adelante y observar con fluctúan en base a las políticas definidas en el anterior punto.

La trayectoria del PIB crece anualmente un 3.4% en el periodo hasta 2040. Esto significa que la economía será el doble de la que tenemos actualmente. Sin embargo, la energía requerida varía sustancialmente en función de cada escenario.

La demanda de energía primaria sube hasta el 43% en el escenario de políticas actuales, un 31% con las nuevas políticas y un 9% con el escenario de descarbonización. Las emisiones de CO₂ suben hasta el 36% con las políticas actuales, un 13% con las nuevas políticas y cae hasta un 43% en el escenario de descarbonización.

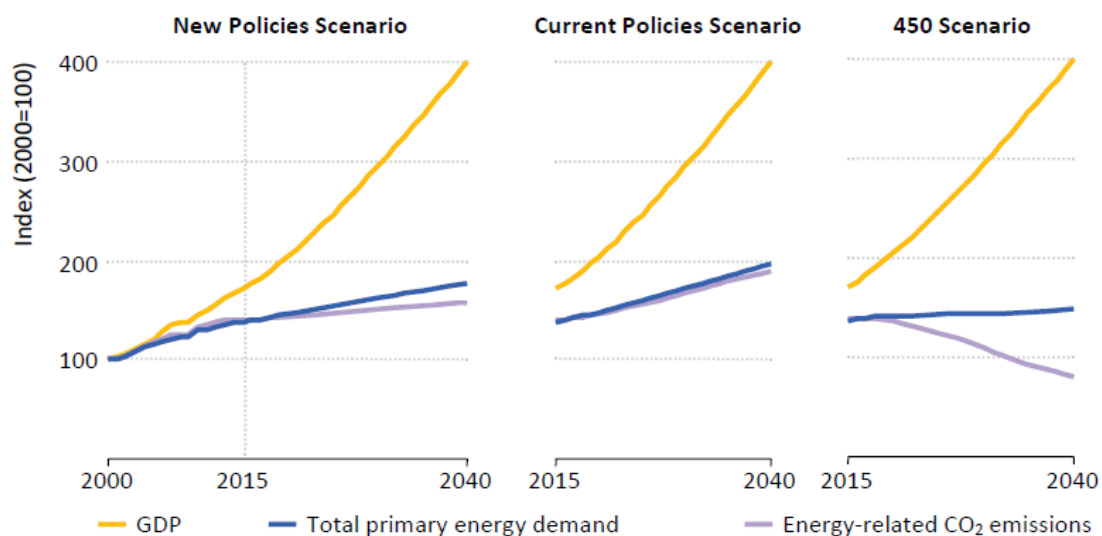


Figura 2 - Trayectorias del PIB, energía primaria demandada y emisiones de CO₂ [2]

Se puede observar en la Figura 2 que entre los años 2014 y 2015 se produce un descenso de las emisiones de CO₂. Esto puede ser debido a la fuerte recesión que sufrió la economía mundial durante estos años, con EEUU a la cabeza. Pero no cabe duda de que las nuevas políticas comienzan a surtir efecto en lo que se refiere a las emisiones. Para comprobar el verdadero alcance y eficiencia en el desarrollo de estas nuevas tecnologías, será necesario esperar algún tiempo.

La muestra el por qué es un desafío convertir el descenso de las emisiones de CO₂ en una caída sostenida. Suponiendo un incremento anual del PIB del 3%, significa que se deben producir importantes mejoras en la intensidad energética y nuevas tecnologías para sostener este importante aumento, a la vez que se ofrece una reducción de emisiones.

El crecimiento se centra en economías emergentes, donde la actividad económica sigue siendo suficientemente asociada a la energía intensiva. Pero el resultado global sigue siendo una tendencia al alza como observamos en la Figura 3.

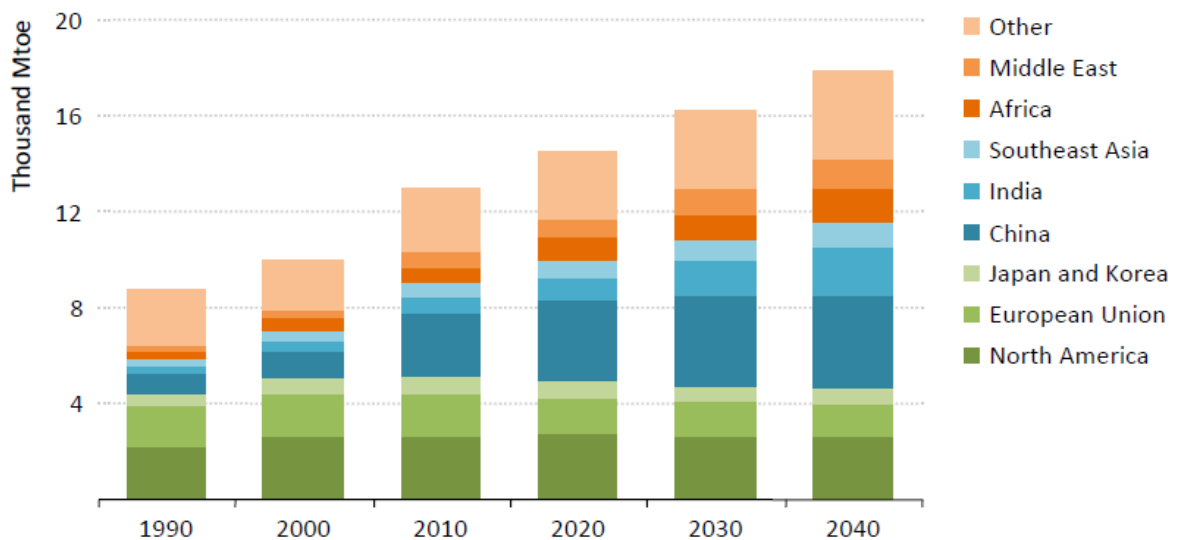


Figura 3 - Demanda de energía por región en el Escenario de Nuevas Políticas y MGVS [2]

1.4 ...Pero basado en las renovables

A tenor de lo desarrollado en el punto anterior, se puede afirmar sin temor a duda que en nuestros días es más importante que nunca lograr un suficiente cupo de energía que nutra de energía proveniente de fuentes renovables.

En la Figura 4, teniendo en cuenta un Escenario de Nuevas Políticas para el horizonte 2040, que como se trató en el punto 1.2, se trata de un escenario moderado, tiene un peso de alrededor del 20% de la energía primaria lo que refleja la importancia de un desarrollo adecuado de esta rama energética.

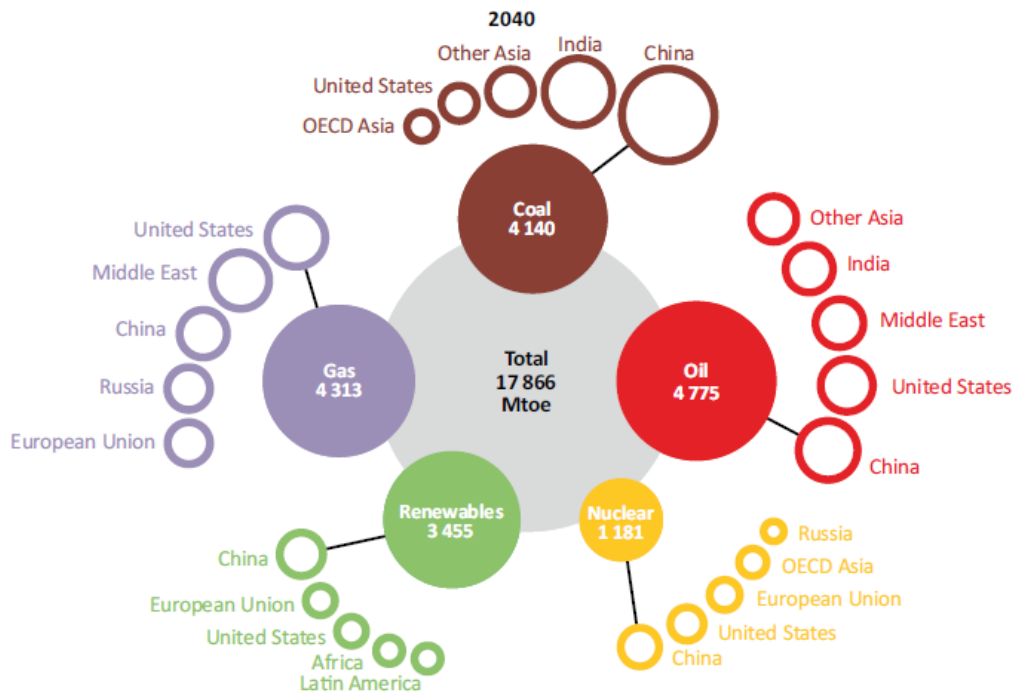


Figura 4 - Energía global primaria en el Escenario de Nuevas Políticas en 2040 [2]

En un escenario mucho más optimista en torno a lo que emisiones de CO₂ se refiere, el Escenario 450, las energías renovables aportan más de un 50% del total de energía primaria en el horizonte 2040 como se puede apreciar en la Figura 5.

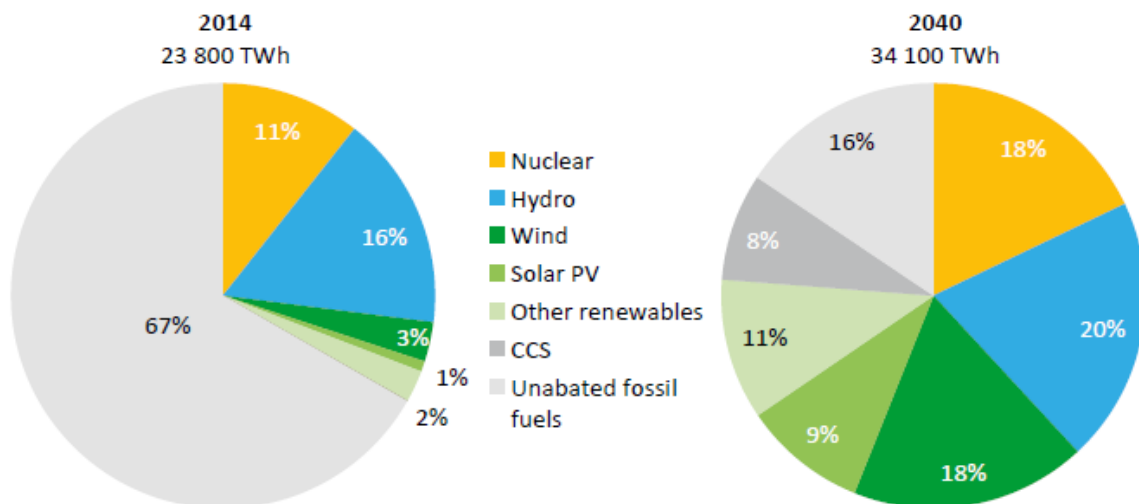


Figura 5 - Evolución de la potencia instalada en un Escenario 250 [2]

Siendo este escenario muy positivo, no es descartable que en un futuro no muy lejano se produzca un crack en torno a los países exportadores de combustibles fósiles, miembros de la OPEP o no. Esta situación generará una gran inestabilidad que podría incluso paralizar la industria europea, ya que las reservas actuales de la UE son ínfimas

en relación al consumo diario.

Por lo tanto, esta descarbonización es totalmente necesaria para mejorar la autosuficiencia y el autoabastecimiento de energía, factores que pueden hacer que la economía europea y más concretamente la española, estén dotadas de una estabilidad ante imprevistos externos que ahora mismo no existe. Y esta descarbonización pasa por la necesidad de una fuerte apuesta en renovables.

1.5 Energía solar térmica

La energía solar térmica (EST) se refiere al calor generado por la radiación solar. Esta energía se utiliza en aplicaciones industriales, comerciales y residenciales a través de diferentes tecnologías, que incluyen la producción de vapor, los sistemas de calefacción, los sistemas de refrigeración, etc. Puede producir temperaturas que van desde los 45°C hasta más de 300°C, por tanto, es potencialmente muy útil para una amplia gama de sectores. Con energía solar se puede suministrar energía térmica a distintos niveles de temperatura. De hecho, las principales características (necesidad de seguimiento del Sol y la relación de concentración, entendiendo ésta como la relación entre el área de captación total y el área de pérdidas energéticas del receptor o elemento en donde se transforma la radiación solar, concentrada o no, en energía térmica) de los diferentes sistemas solares térmicos vienen determinadas por el nivel de temperatura que se requiera.

La energía solar es una fuente renovable y abundante que proporciona soluciones sostenibles en procesos industriales, a pesar que en ciertas ubicaciones este tipo de energía no sería factible. En otros muchos otros lugares, la radiación solar es abundante e implantando sistemas adecuados podríamos lograr el objetivo de 0 emisiones.

Para hacernos una idea de la importancia potencial de la energía solar, debemos saber que el globo terráqueo recibe 10.000 veces más energía de la que consume. A pesar de ello, la distribución actual del consumo de energía destinada a electricidad se reparte de la siguiente forma: 70-80 % proveniente de combustibles fósiles (carbón, gas, petróleo) y energía nuclear (uranio); 20% o más proveniente de energías renovables (solar, eólica, mareomotriz, hidráulica, geomotriz o biomasa). La Tierra recibe, en el sur de Europa (36° Latitud Norte) una irradiación de 5 KWh/m²·día, por tanto, recibirá aproximadamente una radiación global de 1750 KWh/m²·año (En Andalucía se llegan a los 2000 KWh/m² anuales).

A nivel mundial la EST lidera la lista de recursos renovables en cuanto a potencia instalada (en 2010 se tenían 195 GWt instalados en 279 millones de m² frente a los 282 GWe de energía eólica; 10,7 GWe de energía geotérmica; y 40 GWe de fotovoltaica).

Además, la demanda total de calor en el consumo global de energía en la UE se estima en torno al 48 % (para fines industriales y domésticos) frente al 52 % perteneciente a demandas de electricidad y transporte (con una gran mayoría proveniente de combustibles fósiles).

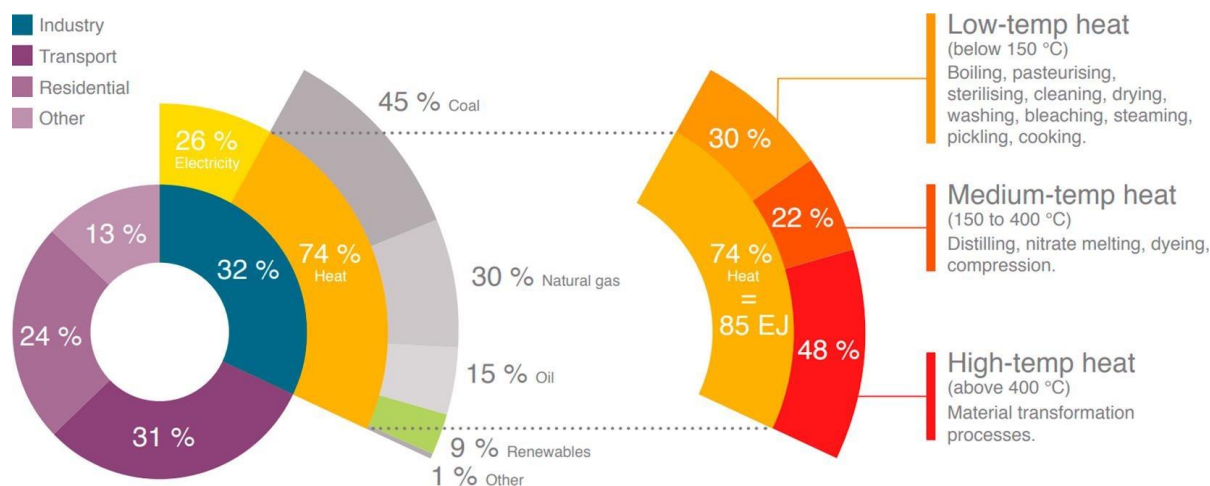


Figura 6 - Energía primaria global consumida [3]

Como se observa en la Figura 6, un 30% del total del calor de consumido en la industria se concentra en procesos de baja temperatura, como secado, lavado, limpieza o esterilizado. Un 22% se destina a procesos de media temperatura, entre 150 °C y 400°C. Entre estos procesos destaca el destilado y algunos otros relacionados con la minería o metalurgia.

Es en estos procesos de baja y media temperatura en los que se centra la energía solar térmica para procesos industriales ya que son temperaturas la cuales pueden alcanzarse fácilmente con la tecnología que actualmente existe en el mercado, yendo desde captadores solares a discos parabólicos.

El principal inconveniente con el que se encuentran las pequeñas y medianas industrias para integrar los sistemas de energía renovable en sus procesos de producción es el gran coste económico. Otra gran desventaja se centra en la necesidad de asegurar un suministro de energía continuado, lo que a priori parece difícil con los sistemas de energía solar.

Las regiones industrializadas de Europa, Asia y América del Norte usan de una forma exitosa energía solar térmica en procesos industriales. El uso de energía solar para la generación de electricidad es algo que también se está convirtiendo en popular en diferentes partes del mundo. Todas estas aplicaciones son altamente dependientes de la radiación solar. Si la región y la estacionalidad no es significativa, no sería necesario un sistema de almacenaje extra. Sin embargo, en lugares en los que se reduce considerable la radiación solar durante los meses de invierno, sería necesario un sistema de almacenaje energético que proporcione esta energía para que el sistema sea operativo.

1.6 Contenido del trabajo

En este TFM se explican los fundamentos de los procesos térmicos en la industria, manteniendo una visión global y centrándose en los diferentes sistemas que componen esta producción de energía térmica (generación, distribución, almacenamiento y transferencia de calor).

Posteriormente, se tratan los distintos sistemas para la producción de calor mediante energía solar en procesos industriales. Las siglas mundialmente usadas para denominar estos procesos son SHIP (*Solar Heat for Industrial Process*) y describen los sistemas que proporcionan energía solar térmica en las industrias. Se determinan los principales tipos de captadores, el rango de temperatura con el que trabajan, los fluidos empleados. Mención aparte requieren los sistemas de integración, que han alcanzado un alto nivel de madurez y se describen en el apartado 3.3.

De acuerdo con las principales informaciones de procesos solares térmicos industriales, se han identificado los principales procesos y sectores industrial con más potencial para estas aplicaciones. De esta forma, quedarán explicadas las principales aplicaciones de la energía solar térmica.

Se detalla en profundidad un ejemplo de esta integración, la planta solar Miraah en Omán, la de mayor potencia en el mundo, que produce vapor de alta calidad para inyectar en el subsuelo en el proceso de recuperación de hidrocarburos EOR.

Finalizará con una serie de conclusiones que engloban las principales ideas recogidas en el desarrollo de este TFM.

2 PROCESOS TÉRMICOS EN LA INDUSTRIA

El presente punto tiene como principal fin ordenar, clasificar y clarificar los principales procesos que proporcionan calor empleados actualmente en la industria. Estos procesos que pueden producir el calor de una forma muy diversa, están compuestos tanto por los propios elementos que generan el calor como por los equipos de transferencia de calor que transportan el calor desde el sitio de combustión hasta el lugar de uso final.

2.1 Clasificación

Una primera clasificación surge en torno al lugar en el que se produce la energía térmica.

Un sistema en el que el calor se produce dentro del área o material a calentar puede considerarse como directo mientras que otro en el que el calor se produce fuera y es transportado mediante un sistema de distribución se consideraría como indirecto.

Otra clasificación posible se centra en la el tipo método empleado para producir calor.

Por un lado, existen los procesos de que emplean combustión, como el sistema de caldera de la Figura 6. La energía es producida mediante la quema de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos. Los gases que se producen en la combustión podrían estar en contacto directo con el material a calentar o podrían contribuir a la generación de vapor o agua caliente en las calderas.

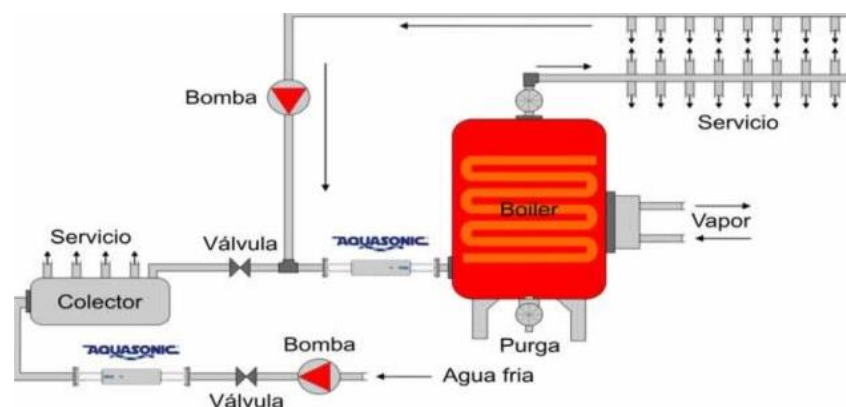


Figura 7 - Sistema de combustión [4]

Existen otros procesos que emplean electricidad para transferir el calor al material, ya sea directa o indirectamente. Estos procesos eléctricos poseen bajos rendimientos debido principalmente al efecto Joule. En los procesos eléctricos directos se produce transmisión de corriente a través de ellos o se excitan los electrones presentes en el material. En los procesos indirectos, el material calentando transfiere el calor producido al material a calentar. Algunos de estos procesos eléctricos se usan para curado, secado,

etc... Ejemplos de procesos térmicos basados en la electricidad son los hornos de arco eléctrico observable en la Figura 8, laser, microondas o secado por radiofrecuencia.

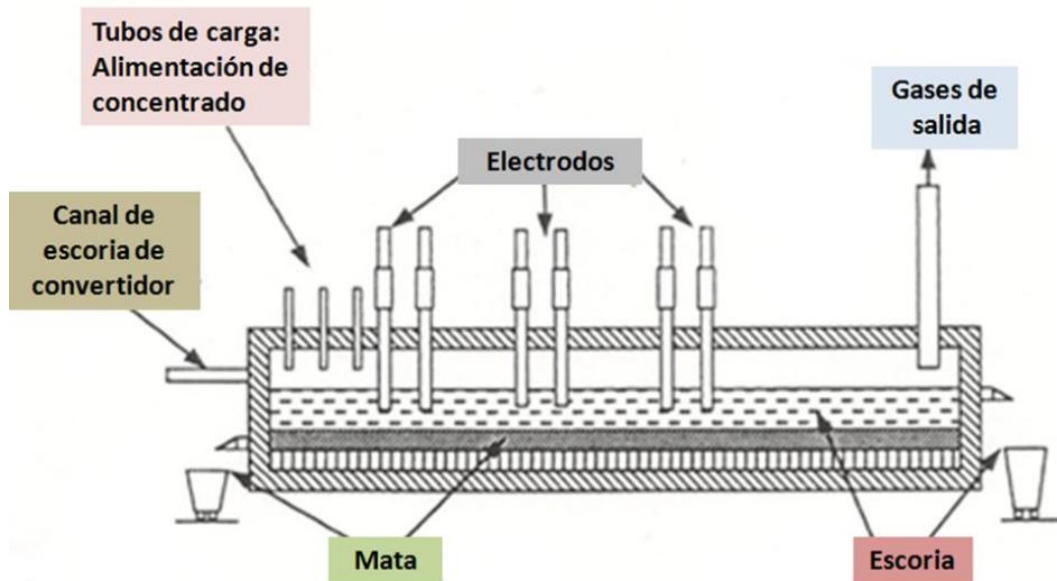


Figura 8 - Horno de arco eléctrico [5]

2.2 Sistemas de la instalación industrial

La instalación industrial está formada por distintos sistemas para poder producir la energía térmica.

2.2.1 Sistema de generación térmica:

Es el proceso industrial por el cual a partir de ciertos combustibles como como derivados del petróleo, carbón, gas natural biomasa o a partir de electricidad se logra producir energía en forma de calor. Este calor depende fundamentalmente del combustible empleado y el fluido caloportador. Sistemas de cogeneración son los más empleados en grandes industrias ya que permite obtener electricidad a partir de un alternador, y vapor y agua caliente a partir de distintos intercambiadores. Con procesos de cogeneración podemos reducir las pérdidas respecto a la energía primaria en unas cifras entorno al 13%, lo que se puede contemplar en la Figura 9.

Es destacable el poco uso que tiene la energía eléctrica en los sistemas de generación, ya que posee importantes pérdidas debido al efecto Joule. Su uso se restringe a nivel residencia y sector servicios principalmente.

En la Tabla 1, se puede observar un resumen de las principales tecnologías de generación.

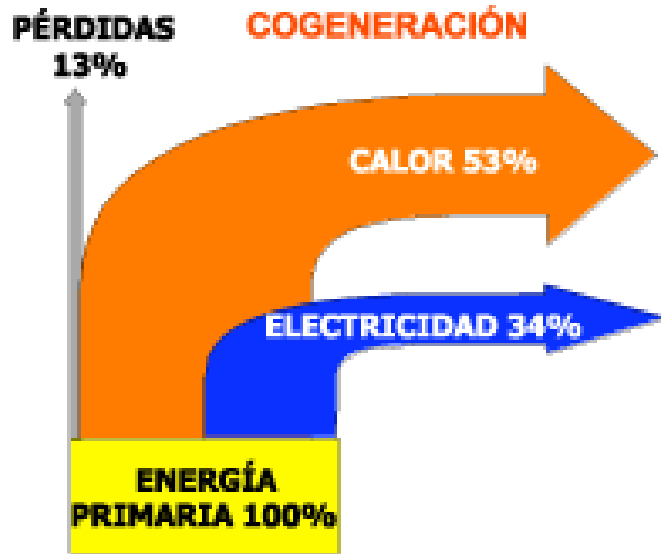


Figura 9 - Rendimientos globales de la cogeneración [3]

Tecnología	Fluido caloportador	Combustible
Generador	Vapor, agua caliente, aceite térmico	Gas natural, GLP, fueloil, carbón, biomasa, biogás
Cogeneración		
Generador de aire caliente	Aire caliente	
Bomba de calor	Agua caliente, aire caliente, aceite térmico	Electricidad

Tabla 1 - Tecnologías de generación

2.2.2 Sistemas de distribución:

Aglutina los diferentes procesos que sirven para trasladar el calor producido a los diferentes procesos en el que lo empleemos. Depende fundamentalmente del fluido caloportador utilizado, siendo especialmente compleja la red de vapor y de condensado de una instalación de vapor, que ha de garantizar que el vapor llegue saturado y seco al proceso y condensado vuelva al sistema de generación limpio y con la máxima energía posible.

Se suelen emplear fluidos caloportadores aceite térmico, vapor sobrecalentado vapor saturado y agua presurizada. Puede usarse el aire como fluido caloportador para ciertos usos, como el secado.

Sin embargo, de entre todos estos fluidos, es el vapor el medio de transmisión de calor más habitual. Aproximadamente un tercio de los carburantes fósiles se emplean para generarlo. Cómo la mayor parte de este calor está almacenado como calor latente, el

calor puede ser transferido eficientemente a una temperatura constante haciéndolo ideal para muchos procesos térmicos.

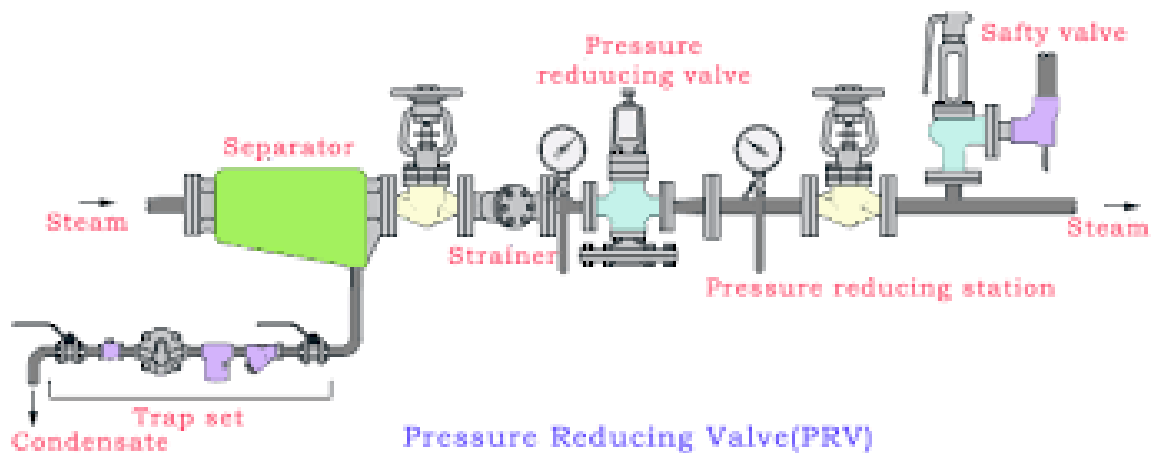


Figura 10 - Sistema de distribución [5]

Los procesos térmicos que emplean agua como fluido calotransportador son fáciles de operar y mantener, pero requieren grandes tuberías con altos diámetros y grandes superficies de transferencia. Para procesos térmicos con temperaturas entorno a los 100 °C, el agua requiere presurización. Los aceites térmicos también son usados como medios de transferencia en procesos industriales. Tienen la capacidad de operar a presiones más bajas que el agua para una temperatura dada. Sin embargo, su calor específico es mucho menor y son más caros.

2.2.3 Sistema de almacenamiento:

Se trata de un sistema crítico en muchas industrias ya que tiene como objetivo mejorar el rendimiento en instalaciones donde la inercia del generador es importante (ya que utilizan carbón o biomasa como combustible) o en aquellos procesos donde la demanda de la instalación es muy variable con el tiempo con el fin de mejorar el rendimiento a carga parcial del generador.

Los sistemas de almacenamiento térmico pueden dividirse en:

2.2.3.1 Almacenamiento de calor sensible (SHTES):

Basado en el incremento o decremento de la temperatura de un medio con una gran capacidad calorífica y de almacenaje. La capacidad térmica media de almacenaje se encuentra en torno a los 100 MJ/m³ con el agua como el material más práctico, logrando una capacidad de almacenamiento de 250MJ/m³ para gradientes de temperatura de 60 °C. Algunos de los ejemplos más comunes de estos sistemas son:

- Tanques con líquidos: son sistemas de simple funcionamiento, tienen un depósito con un fluido que es calentado por radiación solar u otro proceso que rechace calor. Se debe mencionar que no sólo se almacena agua caliente, también es posible almacenar agua a bajas temperaturas. Un ejemplo es un

estanque solar.

- Sales fundidas: Sistema de almacenamiento usado en plantas termosolares por concentración. Los heliostatos (espejos) reciben la radiación solar y la dirigen a un concentrador, por el que circula la sal fundida, al ser calentada se almacena en un tanque y luego se utiliza para calentar agua generando vapor para mover una turbina produciendo electricidad. La cantidad de sales fundidas usadas para la producción de electricidad son menores a las requeridas, permitiendo almacenar el excedente de energía y usarlo en la noche o en periodos con poca radiación solar.
- Lecho de rocas: Como se observa en la Figura 11 se almacenan rocas en silos a los que llega aire caliente entre un rango de 450 °C a 550 °C. Por medio de un soplador se hace circular aire frío, que es calentado por el lecho rocoso. El aire cálido es llevado a otro sistema de generación de energía.

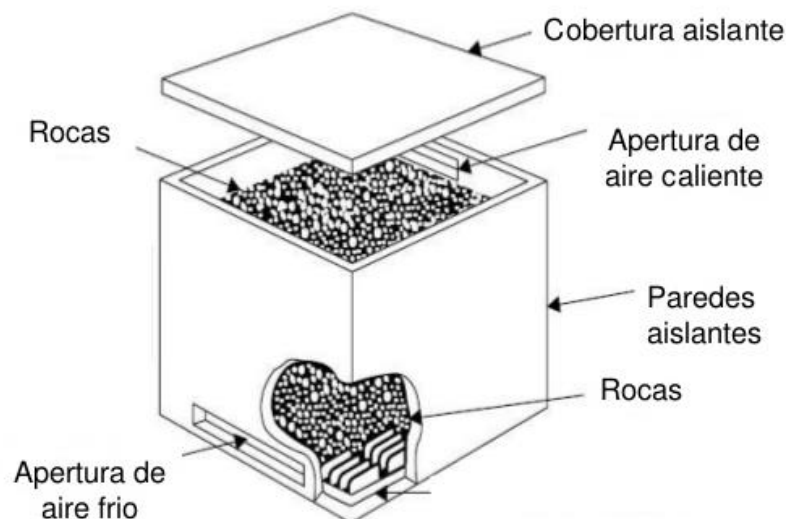


Figura 11 - Almacenamiento de calor sensible [5]

2.2.3.2 Almacenamiento de calor latente (LHTES):

Los sistemas de almacenamiento en calor latente utilizan materiales que cambian de fase a una temperatura que cae dentro del rango de temperaturas de trabajo. Los posibles cambios de fases que pueden realizarse son sólido-sólido, líquido-vapor y sólido-líquido, siendo este último el más utilizado debido a su baja expansión volumétrica en comparación con las otras.

2.2.3.3 Almacenamiento termoquímico:

Un sistema de almacenamiento termoquímico es aquel que utiliza energía térmica para romper los enlaces químicos de una manera reversible, como se ve en la Figura 12. La ruptura del enlace requiere de una elevada cantidad de energía, lo que resulta

un sistema de almacenamiento ideal para grandes cantidades de energía con poca cantidad de material. El producto originado por la reacción es, generalmente, irreversible a temperatura ambiente, por lo que la energía puede permanecer almacenada de forma indefinida sin producirse pérdidas a temperatura ambiente.

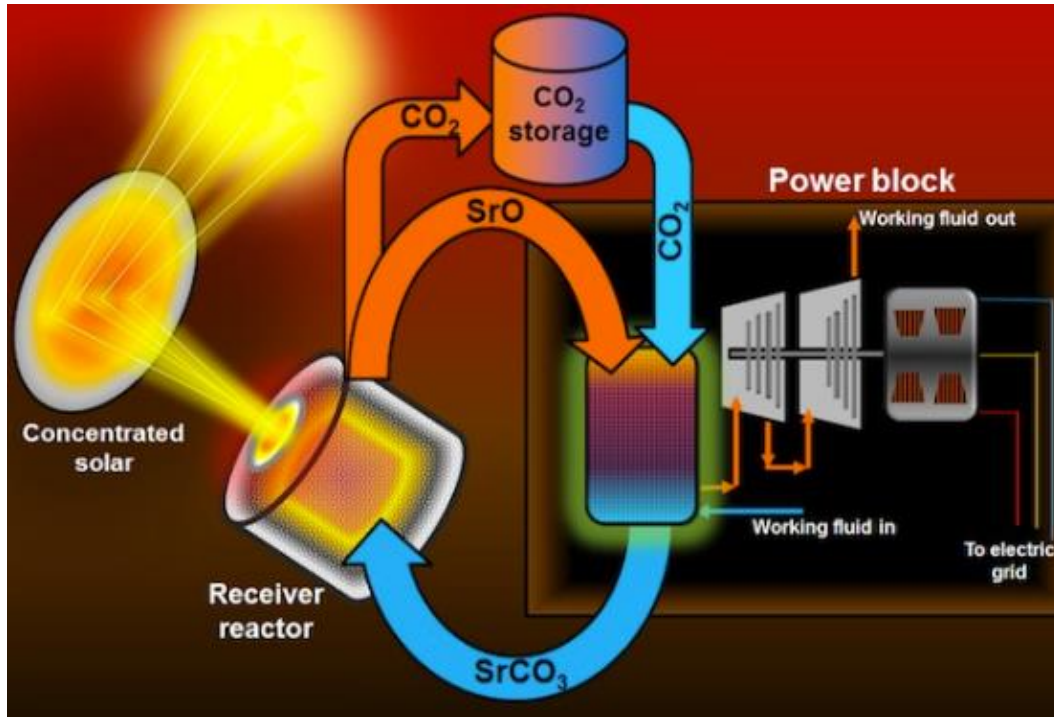


Figura 12- Sistema de almacenamiento térmico [6]

Los medios de almacenamiento más empleados en la industria suelen ser depósitos de agua caliente o acumuladores de vapor, que ofrecen una disponibilidad alta ligados a un bajo coste.

Otra posible clasificación de estos sistemas se centraría en el estado del medio de almacenamiento, diferenciándose entre activos para fluidos o pasivos para sólidos. A su vez, el almacenamiento tipo activo se podría agrupar en directo o indirecto, en función de si el medio de almacenamiento se utiliza como fluido de transferencia de calor o ambos fluidos son diferentes.

2.2.4 Sistemas de transferencia de calor

Se basan en 3 estrategias básicas de calentamiento: intercambiadores de calor (HEX) externos al proceso, intercambiadores de calor incorporados en el proceso o sistemas de calentamiento directo. Además de estas tecnologías, los procesos de evaporación y de secado son frecuentes en muchos sectores industriales y suelen incorporar intercambiadores internos o externos al equipo.

2.2.4.1 Intercambiadores externos:

Los más empleados son los de carcasa y tubos, los compactos y los de flujo cruzado con aletas cuando uno de los fluidos es aire. Los HEX externos pueden calentar

directamente el proceso o un fluido intermedio.

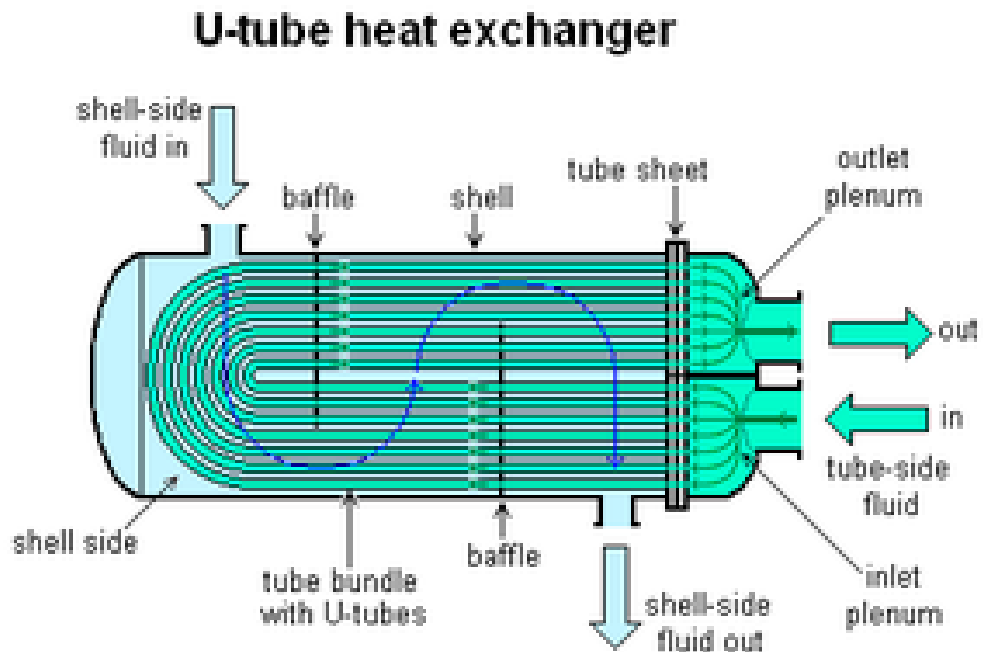


Figura 13 - Intercambiador de carcasa y tubo [5]

2.2.4.2 Intercambiadores internos

Diversos equipos, depósitos o baños pueden calentarse con HEX internos. Los más importantes son camisas de doble envolvente, serpentines o banco de tubos. El uso de estas camisas está limitado a presiones máximas de 6 bar y depósitos de hasta 10 m³ aproximadamente. Para mayores presiones y tamaños se utilizan serpentines soldados, perfiles o media tubería soldada.

2.2.4.3 Sistemas de calentamiento directo

Los principales sistemas de calentamiento directo son combustión directa, utilizando los gases de combustión como fluido caloportador, e inyección de vapor vivo en baños, depósitos o corrientes de fluidos.

2.2.4.4 Evaporadores y secaderos

Los evaporadores y secaderos se utilizan generalmente como mecanismos de calentamiento específicos, por lo que, aunque incorporen HEX externo o interno, se suelen analizar de forma independiente.

Los evaporadores pueden clasificarse según el mecanismo de evaporación, evaporadores tipo Kettle, con circulación natural o forzada y evaporadores en película ascendente o descendente. Los evaporadores suelen calentarse con vapor y se diseñan como evaporadores de múltiple efecto.

Los secaderos industriales, véase la Figura 14, tienen tipologías y modos de operación muy diferentes. Se clasifican en secaderos convectivos, por contacto, radiantes y liofilizadores utilizados en la industria agroalimentaria. En los secaderos convectivos por aire caliente y en los secaderos por contacto es posible incorporar sistemas de energía solar.

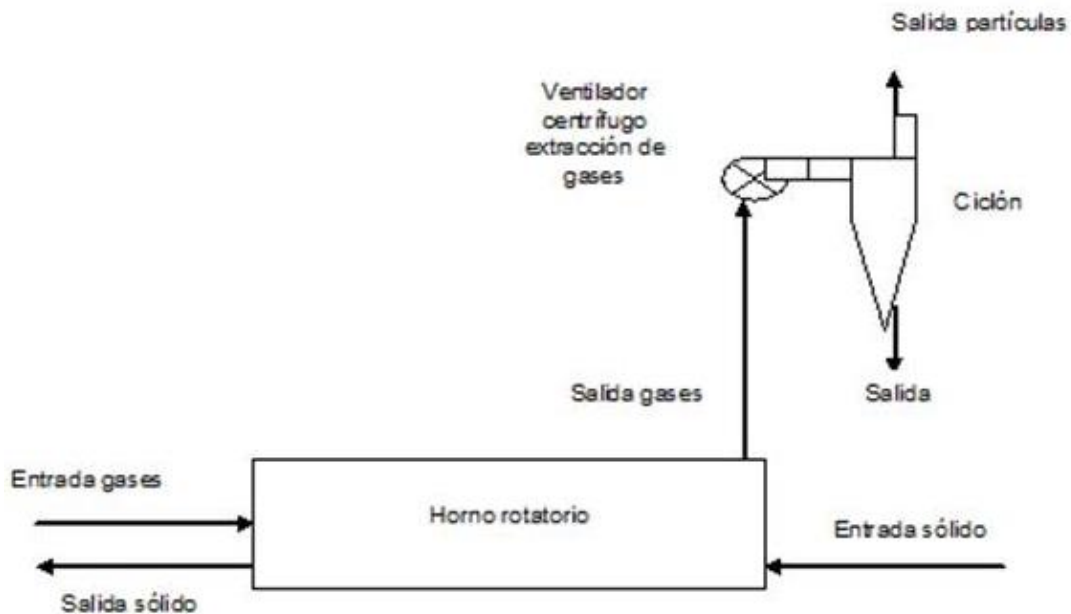


Figura 14 - Secadero industrial [5]

2.3 Temperaturas de trabajo

El calor industrial que demandan las industrias está caracterizado por una amplia diversidad con respecto a los niveles de temperatura y los diferentes procesos industriales. Incluso pueden diferir en un mismo país debido a las condiciones locales en las que están ubicadas las industrias

Debido a la importancia de la temperatura del proceso térmico, se pueden clasificar en:

2.3.1 Procesos térmicos a baja temperatura ($T < 100\text{ }^{\circ}\text{C}$):

Este calor típicamente se demanda para la calefacción de espacios. Este calor también es utilizado para procesos como lavado, aclarado y preparación de alimentos. Puede ser empleado también para el precalentamiento de agua. Otra parte importante del calor también se usa para la calefacción de edificios industrial.

2.3.2 Procesos térmicos a media temperatura ($100\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 400\text{ }^{\circ}\text{C}$):

El calor se suministra normalmente empleando el vapor como medio caloportador. Algunos de los procesos industriales para los que es empleado son esterilización, destilación o blanqueo. Ta

2.3.3 Procesos térmicos a alta temperatura ($T > 400\text{ °C}$)

Necesario para la fabricación de materiales, cerámicas o vidrio. Este calor es creado mediante el empleo de gases de combustión, inducción eléctrica como, por ejemplo, el arco eléctrico.

2.4 Sectores y procesos

Basándose en los estudios de Euroheatcool realizados a nivel europeo y exportables a nivel mundial, la industria química, no metálica y metálica poseen las temperaturas de demanda más altas. Otras ramas como la alimentaria y la papelera usan casi en exclusiva media y baja temperatura.

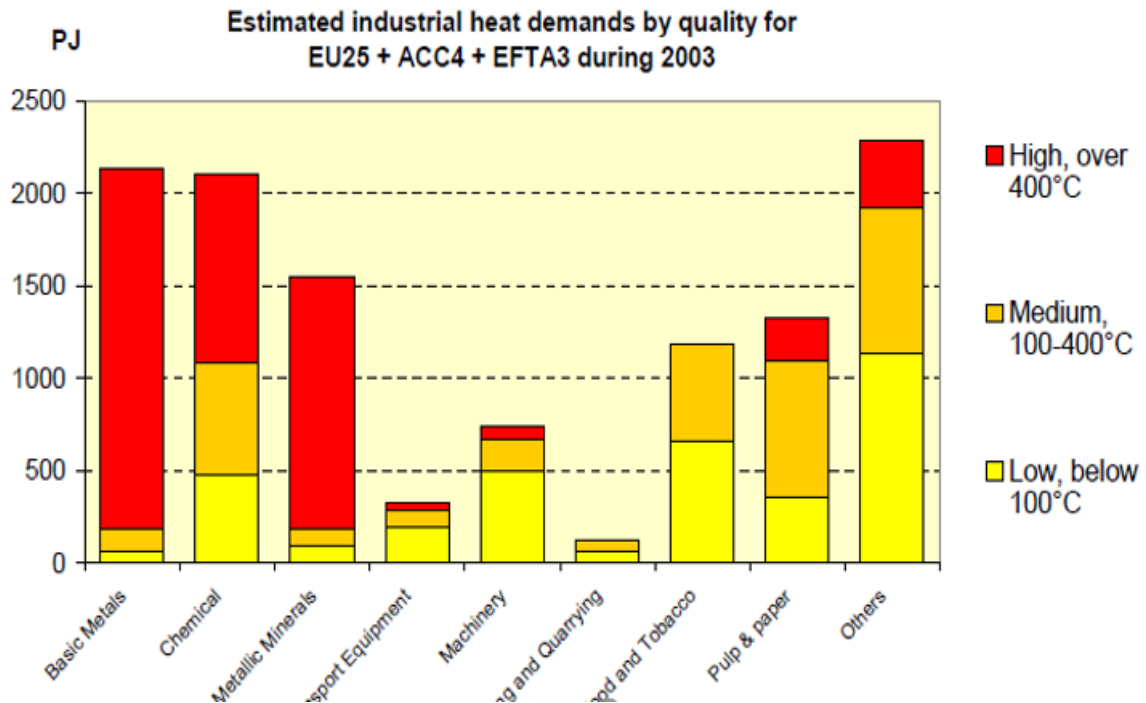


Figura 15 - Estimación de calor industrial demandado [7]

Los procesos industriales que se encuentran debajo de 250 °C son actualmente rentables y existen plantas que ya operan a esos niveles. Esta es el área más prometedora para la tecnología solar térmica ya que en estos sectores se puede alcanzar el 100% de la energía calorífica requerida.

Muchos de estos procesos son compartidos en las distintas industrias como alimentación, textil, química, caucho, etc... Los más importantes son la esterilización, pasteurización, secado, hidrolizado, destilación, evaporación, limpieza y lavado.

Normalmente, la mayoría de la energía consumida en la industria está compuesta por una mezcla de las distintas fuentes de energía, dependiendo de la disponibilidad de combustibles, situación geográfica y avance tecnológico del país en cuestión.

Las industrias del metal, química, alimentaria y papelera son las que más calor demandan. Es la electricidad la que domina este ranking, como se puede observar en la Figura 17.

Sector Industrial	Proceso	Rango de Temperatura [°C]
<u>Alimentación y bebidas</u>	Secado	30-90
	Lavado	40-80
	Pasteurizado	80-110
	Hervido	95-105
	Esterilización	140-150
	Tratamiento térmico	40-60
<u>Industria Textil</u>	Lavado	40-80
	Blanqueamiento	60-100
	Tinte	100-160
<u>Industria Química</u>	Hervido	95-105
	Destilación	110-300
	Procesos químicos varios	120-180
<u>Todos los sectores</u>	Pre calentamiento del agua de alimentación a caldera	30-100
	Calefacción de salas de producción	30-80

Figura 16 - Sectores industriales y procesos con mayor potencial [6]

Este punto se desarrollará con más detalle en el capítulo 4 de este trabajo.

El carbón es la más usada para procesos indirectos debido a su alto contenido de impurezas asociados con la combustión. Además, en Europa y Norteamérica, el uso de gas natural y derivados del petróleo líquidos también son muy empleados, lo que repercute al alza en su uso global. La biomasa se emplea en zonas en las que se encuentre disponible ya que su coste es menor que el de los combustibles fósiles, por ejemplo, Suecia o Finlandia. La energía solar posee aún un bajo porcentaje, aunque se prevé que aumente en los próximos años debido a los beneficios medioambientales que conlleva y a una reducción de los gases de efecto invernadero, en función de los distintos escenarios que se contemplen.

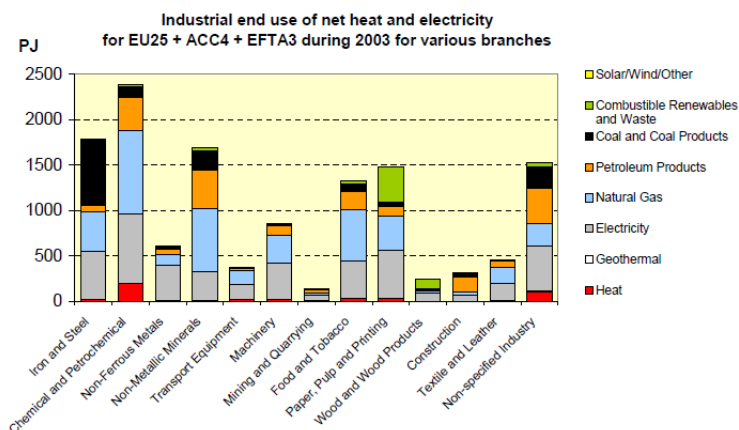


Figura 17 - Origen de la energía consumida [7]

3 SISTEMAS DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA EN LA INDUSTRIA

3.1 Introducción

La energía solar térmica puede satisfacer una cantidad sustancial de demanda de calor en aplicaciones industriales y procesos agrícolas alimentarios en un país determinado, independientemente de la situación geográfica. En las economías desarrolladas, la energía solar térmica puede proporcionar aproximadamente la mitad de este consumo de energía mediante el suministro de agua caliente y vapor en un rango de temperatura de hasta 400 °C. En los países en desarrollo, especialmente en aquellos donde la agricultura, la industria textil, de ladrillos y de alimentos son importantes, la energía solar térmica puede proporcionar aire caliente y agua caliente necesaria para el curado, secado, teñido, lavado, ebullición, pasteurización y esterilización.

En general, existen tres grupos de tecnologías solares térmicas que son útiles para calor de proceso industrial: captadores solares de aire, sistemas solares de agua y concentradores solares.

Los captadores solares de aire se encuentran principalmente en la industria de procesamiento de alimentos para reemplazar el secado a base de gas o aceite o para reducir el deterioro de los alimentos debido al secado al aire libre. Son construidos localmente y su coste depende de los materiales de construcción locales y del coste de la mano de obra.

Los sistemas de agua solares convencionales, como los captadores de placa plana (FPC en inglés) o los captadores de tubos de vacío (ETC en inglés), se utilizan principalmente en aplicaciones residenciales, pero pueden instalarse fácilmente en tejados industriales para proporcionar una demanda de calor de hasta a 125°C. Existen más de cien sistemas en todo el mundo, desarrollado localmente. Actualmente, un pequeño número de las grandes empresas internacionales venden estas tecnologías, pero la mayoría de los sistemas solares de calentamiento de agua son fabricados localmente por pequeñas y medianas empresas. Esto sucede en países como Brasil, China, Sudáfrica o Turquía, donde los costes son de tres a diez veces más bajos que en los Estados Unidos o en países europeos. Una serie de diseños más avanzados de FPC y ETC son en el mercado y puede generar temperaturas de hasta 250°C; sin embargo, también son más caros que los FPC y ETC convencionales.

Los concentradores solares incluyen captadores parabólicos, captadores cilindro parabólicos lineales y captadores lineales Fresnel. En la India, los fabricantes locales venden principalmente captadores de discos parabólicos que pueden generar temperaturas de hasta 400°C. Alrededor de 80 proyectos comerciales se han instalado en la India, principalmente para la industria alimentaria. Actualmente existen alrededor

de veinte sistemas comerciales en todo el mundo en lo que se refiere a concentradores solares.

3.2 Tecnologías en uso

Las tecnologías de calentamiento y enfriamiento solar recogen la energía térmica del sol y la transfieren a un fluido de transferencia de calor. Si el fluido de transferencia de calor es agua o aire, el agua tibia o el aire caliente se pueden usar directamente o canalizarse a 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 el caso del enfriamiento solar, el fluido calentado se utiliza en un dispositivo llamado enfriador de absorción para impulsar el enfriamiento de los fluidos del proceso.

El 99% de las tecnologías de calefacción y refrigeración solar se utilizan para proporcionar agua caliente o calefacción de espacios en hogares residenciales, pero también se puede utilizar para proporcionar calor de proceso para procesos industriales.

En este último caso, las tecnologías son similares a las utilizadas en aplicaciones residenciales con tres excepciones:

- La cantidad de calor y enfriamiento requerido en los procesos industriales es mucho mayor.
- Las necesidades de calor y enfriamiento a menudo son continuas por lo que se necesitan sistemas de control complejos adicionales.
- Los niveles de temperatura requeridos para el calor del proceso son a menudo más altos, por lo que se necesitan concentradores y otras tecnologías avanzadas para elevar la temperatura.

El uso de la energía solar en procesos industriales se ha estudiado desde la década de 1970 pero debido a los altos costos de capital y los bajos costos de carbón y gas para aplicaciones industriales, solo se ha llevado a cabo un despliegue limitado en los últimos treinta años.

Las tecnologías de calor de proceso solar se pueden subdividir en tres amplias áreas de tecnología. Los secadores solares a gran escala se aplican principalmente en la industria de procesamiento de alimentos y utilizan equipos de circulación natural o de convección forzada para recoger la radiación solar para aplicaciones de secado. Los captadores de calor de proceso solar se utilizan para proporcionar agua caliente o calefacción de espacios en una variedad de diferentes sectores de la industria. Por otro lado, también existen tecnologías que nos proporcionan frío solar, que se tratan en el apartado 3.2.2

3.2.1 Calentador solar de aire

Las tecnologías de calentamiento solar de aire se utilizan principalmente para evitar el

deterioro y alargar la vida útil, mantener o mejorar la calidad del producto y facilitar el transporte de productos alimenticios naturales o para precalentar el aire de las calderas.

Si bien las tecnologías de calentamiento solar de aire se han utilizado durante siglos, los nuevos desarrollos en el diseño de convección y el almacenamiento de energía térmica están aumentando la gama de aplicaciones para esta tecnología, especialmente para reemplazar la biomasa tradicional o los combustibles fósiles como una fuente de secado en los países en desarrollo.

El método más simple y más comúnmente utilizado para aplicaciones alimenticias es secar al aire libre (también llamado secado al sol). En estas circunstancias, sin embargo, los productos alimenticios son susceptibles de deterioro, contaminación y ataques de animales.

Las tecnologías de secado solar pueden abordar algunos de estos problemas al proporcionar un recurso barato y un flujo de aire más consistente y de mayor temperatura para deshidratar productos ya que bastantes industrias utilizan gas o carbón para secar sus productos, pero este hecho dispara los costes operativos, que pueden llegar hasta el 50%. Sin embargo, también requieren inversiones de capital, mantenimiento y un sistema de calefacción de respaldo para asegurar el secado cuando no haya sol disponible.

La congelación, los sobrecalentamientos o las fugas son imposibles cuando el fluido caloportador es el aire. Por ello, los calentadores solares de aire trabajan del lado de la seguridad incluso en periodos de no funcionamiento y en condiciones difíciles. El único mantenimiento se centra en el cambio del filtro de admisión de aire.

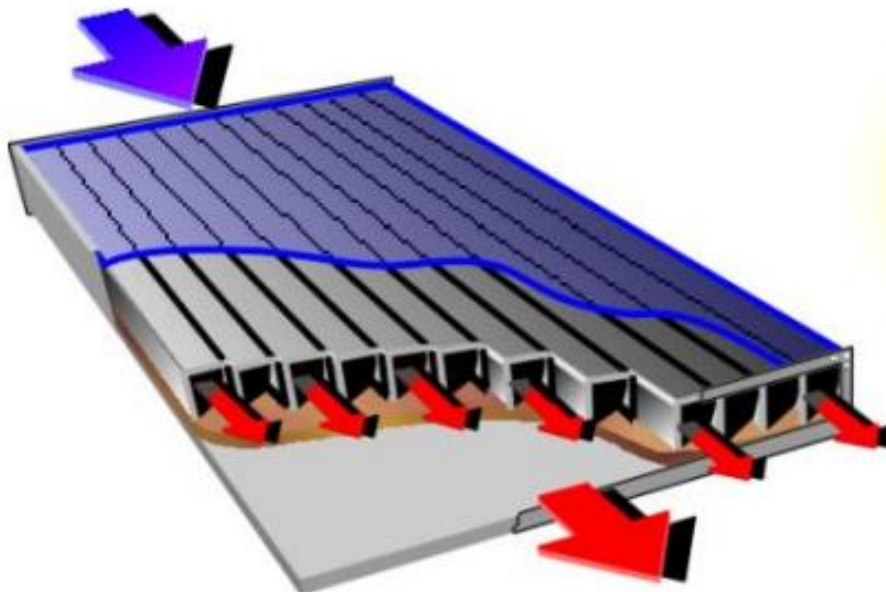


Figura 18- Captador solar de aire [8]

Un ejemplo se puede encontrar en el captador proporcionado por la empresa alemana Grammer Solar, compuesto por un absorbedor de aluminio negro por el que se aspira el aire. Sobre el mismo, una cubierta de vidrio solar de seguridad transparente y un aislamiento trasero de lana mineral.

Algunos de los principales ejemplos de uso de esta tecnología los encontramos en secaderos de semillas, virutas de madera, biomasa, pastos o incluso en procesos de lacado.

3.2.2 Captadores solares

Las instalaciones térmicas utilizadas para uso industrial son similares a las utilizadas en edificios residenciales, especialmente para aquellas aplicaciones en las que solo se requieren temperaturas bajas ($<150\text{ }^{\circ}\text{C}$) a medias ($150\text{ }^{\circ}\text{C} - 400\text{ }^{\circ}\text{C}$). Para temperaturas más altas ($> 400\text{ }^{\circ}\text{C}$), se requieren captadores solares más avanzados o concentrados. Los sistemas térmicos solares que usan reflectores, lentes u otros elementos ópticos para redirigir y concentrar la radiación solar en un absorbente se denominan "captadores de concentración solar".

3.2.2.1 Clasificación en función del rango de temperaturas

3.2.2.1.1 Sistemas térmicos solares para baja temperatura ($<150\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Los captadores convencionales de placa plana (FPC) y los captadores de tubos al vacío (ETC) proporcionan niveles de temperatura de hasta $120\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Figura 19 - Captador Solar Plano (FPC) [8]

Es la tecnología más sencilla para transformar la energía solar en calor. El fluido que circula por el absorbedor es principalmente agua que muchas veces se mezcla con aditivos (glicol, por ejemplo, aunque dependiendo de las temperaturas necesarias se

usan diferentes productos) para evitar la congelación o daños por corrosión. Se puede alcanzar una buena eficiencia hasta temperaturas de 100 °C, utilizando superficies selectivas, cristales con elevada transmisividad y combinado a veces con recubrimiento anti-reflectante. Además, es el tipo de captador más económico.

Cuando se expone una placa metálica al Sol, se calienta, pero si además esta placa es negra, la energía radiante de Sol es absorbida en mayor medida (existen tratamientos superficiales más sofisticados que la pintura negra, que logran mejores rendimientos de la captación solar).

Como consecuencia del calentamiento de la placa, ésta aumenta su temperatura con lo cual empieza a perder calor por los distintos mecanismos: por conducción a través de los soportes que lo sujetan, por convección a través del aire que le rodea y por radiación.

Si se coloca un vidrio entre la placa absorbidora y el Sol ocurre que, como el vidrio es transparente a la radiación solar, pero es opaco a la radiación infrarroja (superficies selectivas), no deja pasar la radiación de mayor longitud de onda que emite la placa al calentarse. De esta manera, se produce el efecto “trampa energética de radiaciones” que impide que la mayor parte de la energía radiante que ha atravesado el vidrio vuelva a salir; esta trampa constituye el denominado efecto invernadero.

Además, el vidrio evita el contacto directo de la placa con el aire ambiente con lo que se evitarán las pérdidas por convección antes referidas. Si se completa el conjunto de la placa absorbidora con el vidrio aislándolo por la parte posterior y por los laterales se consigue que la placa pierda menos calor y, por tanto, aumente su temperatura. Todo el conjunto anterior, encerrado en una caja para sujetar todos los componentes y evitar que se deterioren por los agentes exteriores constituyen el captador solar plano.

Los captadores de tubo de vacío son también bastante comunes y alcanza temperaturas más altas que los CP, en un rango de 50 °C a 130 °C. También pertenecen a la categoría de sistema estacionario y absorben radiación directa y difusa, utilizando un absorbedor plano.

Se compone de múltiples tubos de vidrio de vacío que contienen una placa absorbidora fundida a un tubo de calor. El calor del extremo caliente del tubo se transfiere al fluido de transferencia (agua o glicol) de un sistema de agua caliente o de calefacción de espacio hidrónico a través de un “captador”, que para protegerlo de los elementos está envuelto en aisladores y cubierto por láminas de metal o por una caja de plástico. La forma del cristal siempre es de tubo, con el fin de resistir la tensión del vacío.

El vacío que rodea el exterior del tubo reduce en gran medida la pérdida de calor por convección y conducción por lo cual resulta más eficiente que el CP, particularmente, en condiciones más frías. Esta ventaja se pierde drásticamente en los climas más cálidos, excepto en aquellos casos donde se requiera agua muy caliente.

Este tipo de captadores tienen unos elementos de bario llamados “getters”, cuya función es mantener el vacío en el interior del tubo y ofrecer un indicador visual del estado del vacío. El color plateado del bario se volverá blanco en caso de alguna presencia de aire,

mostrando un mal funcionamiento del tubo.

Hay dos categorías de tubos de vacío:

- Principio de flujo directo: El fluido de trabajo del bucle del captador, fluye directamente a través del absorbedor por el tubo coaxial.

Existen muchas disposiciones posibles para los captadores de tubo de vacío. Una de ellas es similar al captador de placa plana, con el fluido de trabajo atravesando el tubo del captador. Otra configuración consiste en que sólo la salida de fluido esté conectada con el absorbedor, ya que el fluido de trabajo que se está calentando pasa por el centro del tubo absorbedor, y la tubería para la entrada de fluido está situada dentro del tubo de salida del fluido. La principal ventaja de la segunda configuración es, que permite su instalación a cualquier ángulo de inclinación deseado. Se están llevando a cabo nuevos desarrollos, como el tubo Lenz, para mejorar la transferencia de calor.

- Principio de tubos de calor: El calor del absorbedor se transfiere al fluido de transferencia de calor del bucle del captador mediante un sistema de tuberías de calor.

Se diferencia del anterior porque el fluido caloportador no está conectado al bucle solar. Las tuberías deben estar anguladas a unos grados específicos sobre la horizontal para que el proceso de vaporización y condensación funcione correctamente. Los captadores se pueden conectar de dos modos al sistema de circulación solar; un modo es con el intercambiador de calor prolongado directamente en el captador (“conexión húmeda”), o conectado al captador por un material conductor de calor (“conexión seca”). Una “conexión seca” permite el cambio individual de los tubos sin necesidad de vaciar el sistema al completo del fluido.



Figura 20 - Captadores de tubo de vacío [8]

Para aplicaciones de baja temperatura, como el tratamiento de aguas residuales de tratamiento de aguas residuales en climas fríos, también existe un buen potencial en los captadores sin esmaltar. Los captadores no esmaltados se utilizan principalmente para calentar piscinas o en regiones tropicales, pero cuando una fracción solar baja es aceptable y un pequeño aumento de temperatura puede hacer una contribución importante, los sistemas sin esmaltar son mucho más económicos que los sistemas acristalados en aplicaciones industriales.

La tecnología de captador solar, especialmente la tecnología FPC y ETC, está madura y tiene un enorme potencial para sistemas de calor de procesos industriales a baja temperatura, especialmente en regiones con una industria en crecimiento como India y China.

Otra área de aplicación para la energía solar es en procesos de desalinización con temperatura de funcionamiento de hasta 110 ° C, especialmente en regiones con alta irradiancia solar y donde la energía solar térmica puede reemplazar el aceite como combustible.

Hay una serie de técnicas que se utilizan para crear temperaturas más altas. Primero, se han desarrollado varios diseños avanzados para FPC y ETC, como el material de aislamiento transparente para FPC (hasta 150 ° C), acristalamiento múltiple para FPC (hasta 110 ° C) o el uso de gas inerte o un ultra alto vacío (hasta 150 ° C). Otra opción es colocar el ETC y el FPC en los rastreadores para que estén frente al sol durante todo el día.

3.2.2.1.2 Concentradores solares para temperatura media y alta (150 ° C en adelante)

Para aplicaciones de calor de proceso a temperatura media, algunos diseños avanzados de FPC pueden proporcionar temperaturas de hasta 200 ° C. Sin embargo, la principal tecnología utilizada para el calor a temperatura media son las tecnologías de concentración solar.

En el caso más simple, los concentradores parabólicos compuestos (CPC) se colocan detrás de los tubos de vacío del ETC, reflejando la luz solar directa y difusa en el absorbente, también llamados tubos de vacío de CPC. Se pueden usar concentradores similares para FPC. Dependiendo de la configuración del espejo, se pueden lograr factores de concentración de hasta 4: 1, aunque la concentración de CPC generalmente es de alrededor de 1.5 o menor. Combinado con la tecnología de vacío ultra alto, estos ETC pueden proporcionar temperaturas nominales de hasta 200 ° C.

Otros concentradores solares para el proceso de obtención de calor son similares a las tecnologías utilizadas para producir energía solar concentrada, excepto que, en la mayoría de los casos, son más pequeños (de 10 kW a 2 MW). Sin embargo, en lugar de utilizar el calor para producir energía, el calor se utiliza directamente en los procesos industriales.



Figura 21 - Concentrador parabólico compuesto [8]

Ejemplos de concentradores solares son los platos parabólicos ya sea con vidrio plano o curvo, foco fijo o en movimiento, concentradores parabólicos y captadores de Fresnel lineal. Los concentradores pueden usar varias formas, por ejemplo, comederos, discos cilíndricos, tiras de espejo necesarios para concentrar la luz solar en el absorbente.

Los captadores lineales de Fresnel son similares a los captadores cilindroparabólicos, a excepción de los espejos que se colocan en una superficie horizontal en diferentes ángulos a un receptor fijo ubicado varios metros sobre el campo del espejo. Además, para la producción de calor de procesos industriales, los Fresneles lineales a menudo deben adaptarse a las áreas de techos y terrenos disponibles alrededor del sitio industrial, lo que da como resultado diferentes longitudes de filas de captadores y diferentes orientaciones. Estos captadores de alta concentración pueden producir temperaturas de hasta 400°C y son extremadamente interesantes para aplicaciones de calor de procesos industriales. El renovado interés en estas tecnologías ha llevado al desarrollo de nuevos prototipos en varios institutos de investigación de todo el mundo y se están volviendo más populares, especialmente para la calefacción y refrigeración de distrito

Los platos parabólicos ya se usaban en la antigüedad, y consisten en un plato de reflector parabólico que enfoca la luz solar en el punto focal frente al plato. El plato puede consistir en espejos planos unidos a marcos de madera, acero o aluminio. Algunos platos son estáticos y deben ajustarse manualmente (2-3 veces al día) para seguir el sol, mientras que otros rastrear el sol automáticamente.



Figura 22 - Captador lineal Fresnel [8]

Un diseño particular es el plato Scheffler, que se popularizó en la India, especialmente diseñado para cocinar. Otro ejemplo es el plato ARUN-160, un plato parabólico de dos vías con un área de apertura de 160 m², que pesa alrededor de 20 toneladas y genera 100-120 kg de vapor por hora con una potencia térmica de entre 80 y 100 kW.

La tecnología que emplea campos de heliostatos y una torre solar permiten obtener electricidad y energía térmica, con un rango de potencia estimado entre 10 y 50 MW. Las torres solares, o sistemas de recepción central (CRS por sus siglas en inglés), utilizan cientos de miles de reflectores pequeños para concentrar los rayos solares en un receptor central ubicado en lo alto de una torre fija. Algunas plantas de torre comerciales en operación utilizan generación directa de vapor en sus receptores, mientras que otras utilizan sales “molten” como el fluido de transferencia de calor y el medio de almacenamiento. El poder de concentración del concepto de torre alcanza temperaturas sumamente altas, aumentando así la eficiencia por la cual el calor es convertido en electricidad y reduciendo los costos de almacenamiento térmico. Además, el diseño es altamente flexible, permitiendo a diseñadores escoger entre una gran variedad de helióstatos, receptores, fluidos de transferencia y bloques de poder. Algunas plantas cuentan con varias torres que alimentan un bloque de potencia.

Funciona a través de la concentración de los rayos solares en la parte superior de una torre fija, lo que permite mayores temperaturas y eficiencias que los sistemas lineales. Pueden generar vapor saturado o sobresaturado directamente o utilizar sales fundidas, aire u otro fluido. Hoy en día, los campos solares de miles de pequeños helióstatos son una alternativa de menor costo para el diseño de campos, aunque cuentan con la complejidad adicional asociada al sistema de seguimiento de espejos y los sistemas de emergencia para los cambios de temperatura del receptor. El mantenimiento del sistema puede producir algunos residuos menores o cambios en condiciones naturales de escurrimientos de agua.



Figura 23 - Campo de heliostatos [8]

Los hornos solares constituyen una variante con el fin de lograr una concentración muy alta en una superficie relativamente pequeña. En ellos, un campo de heliostatos planos refleja los rayos solares paralelos y horizontales sobre un disco parabólico estático, el cual los vuelve a reflejar concentrándolos en su foco donde está situada el área de ensayos. La cantidad de luz incidente se regula mediante el atenuador de flujo, situado entre el concentrador y el heliostato.

Estos sistemas, por sus características, pueden alcanzar concentraciones equivalentes a una temperatura de $3.500\text{ }^{\circ}\text{C}$, siendo especialmente adecuados para procesos que requieran temperaturas muy elevadas (superiores a los $1.000\text{ }^{\circ}\text{C}$) y también para aquellos en los que el aporte energético sea necesario en forma de choque térmico. El campo de aplicación de los hornos solares comprende principalmente el tratamiento de materiales, tanto en condiciones ambientales como en atmósferas controladas y vacío, y los procesos químicos, mediante receptores conectados a reactores químicos, siendo el abanico de aplicaciones de estos sistemas cada vez más amplio.



Figura 24 - Plato Scheffler [8]

3.2.2.2 Consideraciones adicionales

La anterior clasificación se centra en el rango de temperaturas con las que operan los captadores. Sin embargo, existen otras posibles clasificaciones en función del tipo de absorbedor, el movimiento y si existe concentración o no.

Tipo de captador	Tipo de absorbedor	Movimiento	Concentración	Rango de temperaturas (°C)
Captador de Placa Plana	Plano	Estacionario	No	30-80
Captador e Tubo de Vacío	Plano	Estacionario	No	50-130
Captador Parabólico Compuesto	Tubular	Estacionario	Si	80-200
Reflector Lineal Fresnel	Tubular	Seguimiento en 1 eje	Si	60-400
Captador cilindro-parabólico	Tubular	Seguimiento en 1 eje	Si	100-450
Reflector Disco Parabólico	Puntual	Seguimiento en 2 ejes	Si	100-500
Captador Capo de Heliostatos	Puntual	Seguimiento en 2 ejes	Si	150-2000

Tabla 2 - Características de captadores

Centrándose en el tipo de absorbedor empleado para obtener el calor de los rayos solares, existen 3 tipos diferentes: planos, tubulares o puntuales. Los primeros se usan en paneles que aprovechan la radiación directa y difusa, mientras que los tubulares y puntuales se utilizan en sistemas de concentración (energía solar a alta temperatura).

En relación al movimiento del sistema, se encuentran los estacionarios y no estacionarios.

Los captadores estacionarios son fijos y no necesitan ningún otro mecanismo para seguir el trayecto del sol. El calor producido por estos captadores alcanza temperaturas

bajas y medias de hasta 150 °C y se ha conseguido desarrollarlos con una buena relación coste-rendimiento.

Los captadores no estacionarios utilizan mecanismos para seguir la trayectoria del sol. Los hay con un solo eje de giro con seguimiento este-oeste o norte-sur, y también de dos ejes que poseen dos grados de libertad que actúan como ejes de rotación. El calor producido por estos captadores alcanza temperaturas medias y altas de hasta 300 °C.

3.2.2.3 Fluidos de trabajo

Es otra de las importantes características de un sistema termosolar. Los fluidos de trabajo comúnmente usados son el agua (a veces con glicol añadido para evitar la congelación) y el aire. El aire tiene características térmicas con el absorbedor solar más pobres que un sistema funcionando con líquido como fluido de trabajo. No obstante, el fluido de trabajo se elegirá dependiendo de la aplicación (por ejemplo, aire para la calefacción o el secado, líquido para aplicaciones con agua caliente, o incluso aceites especiales para aplicaciones de alta temperatura por sus mejores características térmicas). Todas estas características están recogidas en la tabla 3.

Características	LÍQUIDO	AIRE
<u>Eficiencia</u>	Colectores generalmente más eficientes para una diferencia de temperatura dada.	Generalmente operan con una eficiencia ligeramente más baja.
<u>Configuración del sistema</u>	Puede combinarse fácilmente con sistemas de enfriamiento y de agua caliente.	Se puede suministrar calefacción directamente, pero no se adapta fácilmente al enfriamiento. Puede precalentar agua caliente.
<u>Protección contra congelación</u>	Puede requerir anticongelante e intercambiadores de calor que añadan coste y reduzcan eficiencia.	No es necesaria.
<u>Mantenimiento</u>	Se deben tomar precauciones contra las fugas, la corrosión y la ebullición.	Requisitos de mantenimiento bajos. Fugas difíciles de encontrar pero fácilmente reparables con cinta adhesiva.
<u>Requisitos de espacio</u>	Tubería aislada que ocupa un espacio nominal conveniente para edificios existentes.	Los conductos y el almacenamiento son voluminosos, pero con técnicas estándar.
<u>Operación</u>	Menos energía requerida para bombear líquidos.	Requiere más energía de los sopladores para mover el aire. Más ruidoso.
<u>Coste</u>	Coste más elevado de los colectores.	Coste más elevado del almacenamiento.
<u>Estado del Arte</u>	Ha recibido una atención considerable de la industria solar.	Ha recibido menos atención de la industria solar.

Tabla 3 - Fluidos de trabajo [9]

3.2.2.4 Conclusiones

Los captadores de tubo evacuado tienen una gran presencia en el mercado, de hecho, numerosos fabricantes comercializan este tipo de captadores con reflectores CPC. Recientemente, un fabricante presentó un captador de tubo de vacío entero de cristal, lo cual puede suponer un paso hacia la reducción de costes y el aumento de la vida útil. Estos captadores han demostrado que con una combinación de superficie selectiva y

reducción de convección pueden alcanzar buenos rendimientos a temperaturas elevadas. El recubrimiento de vacío reduce las pérdidas por convección y conducción por lo que se puede operar a una temperatura más elevada que en los captadores planos.

Al igual que los planos, los captadores de tubo de vacío recogen la radiación directa y difusa, sin embargo, su eficiencia es más elevada con bajos ángulos de incidencia. Este efecto da ventaja a los captadores de tubo evacuado frente a los captadores planos en cuanto a rendimiento a lo largo del día.

Para tener una idea del coste económico de las tecnologías más presentes, veamos los precios estimados (con el montaje y la red de tuberías incluida) de algunas de estas tecnologías:

- Captador Plano: 190 €/m².
- Captador Plano Avanzado (AFP): 220 €/m².
- Captador Parabólico Compuesto: 310 €/m².
- Captador de Tubo de Vacío: 430 €/m².

La ganancia energética anual de estos sistemas, en un lugar con condiciones climáticas similares a Sevilla (37° Latitud Norte y 5 kWh/m²), se encuentra entre 620 y 915 kWh/m²·año, y los costes energéticos resultantes obtenidos oscilan entre 0,028 y 0,05 €/kWh dependiendo del tipo de captador empleado.

Los captadores planos selectivos son los captadores solares térmicos más comunes en la industria (alrededor del 70%). Los captadores cilindro-parabólicos son relevantes en cuanto a capacidad instalada (14,5%). Estos captadores disponibles comercialmente, están condicionados a un cierto tamaño de planta mínimo (100-200 KWt) por razones económicas.

Alrededor del 80% de las plantas (en relación a un estudio de IEA-SHC) suministran calor por debajo de 100 °C: la mayor parte son sistemas con CP o CTV que funcionan a 60-100 °C. En el rango 100-160 °C sólo existen en operación instalaciones con CTV, mientras que por encima de 160 °C principalmente se utilizan CCP para producción de vapor o refrigeración con máquinas de absorción de doble efecto.

El rango de potencia es variable en estas tecnologías, existiendo sistemas que pueden generar desde 10 kW de potencia hasta proyectos sobre los 200 MW, permitiendo abastecer una amplia gama de demandas y hasta conectarse a la red local de distribución. El factor de planta en la actualidad es cercano al 30%, con posibilidades de duplicarlos mediante sistemas de almacenamiento térmico. Respecto de la eficiencia de conversión, esta se encuentra entre 15-35 % dependiendo de la tecnología específica de que se trate.

Las principales barreras que deben enfrentar las tecnologías CSP tienen relación con el bajo costo de los combustibles fósiles (en especial en países que, por medio de subsidios, mantienen valores de estos combustibles menores a los globales) la escasez de agua, los permisos y acceso a la red, pues muchas veces los lugares óptimos que

cuentan con agua y radiación solar se encuentran alejados de los puntos de consumo.

Una vez estudiado el perfil de temperaturas requerido en la industria en el futuro, se puede intuir que la mayoría de la demanda de energía calorífica para los procesos se puede cubrir empleando captadores de bajo coste, como el de placa plana o captadores de tubo de vacío.

Solamente el 8% de la energía termosolar estimada en 2050 (5,6 EJ/año), exigirá el uso de tecnología CSP, el resto puede lograrse empleando captadores de placa plana y de tubo evacuado.

3.2.3 Frío Solar

Además de las aplicaciones de calefacción, los sistemas solares térmicos también pueden cumplir con los requisitos de refrigeración. En este caso, los sistemas de refrigeración solar térmica se pueden usar para reemplazar los enfriadores de absorción/adsorción impulsados por gas o electricidad o para reemplazar los sistemas de aire acondicionado de compresión de vapor accionados por electricidad.

Los sistemas de refrigeración por absorción y adsorción utilizan refrigerantes líquidos o sólidos para enfriar el medio ambiente.

En los enfriadores de absorción, que es el sistema más común, la energía solar se utiliza para regenerar el fluido absorbente, que contiene el refrigerante después de que se haya evaporado. Dos de los sistemas más comunes son los sistemas enfriadores de absorción cerrada con amoníaco-agua o agua-litio-bromuro como líquidos refrigerantes.

Los sistemas desecantes se usan para proporcionar aire acondicionado, y usan un material desecante para absorber o adsorber el agua caliente del aire y devolver el aire frío al edificio. La energía solar se utiliza para regenerar los desecantes.

Los enfriadores de efecto simple, al igual que los ciclos de desecante, tienen menor eficiencia, pero también requieren temperaturas más bajas ($70\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$) para funcionar.

Los enfriadores de absorción de doble y triple efecto solo están disponibles para capacidades de 100 kW o más y tienen mayores eficiencias, pero también mayores requisitos de calor de $150\text{-}180\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $200\text{-}250\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

La mayoría de las enfriadoras térmicas utilizadas en la industria tienen grandes capacidades de refrigeración ($> 100\text{ kW}$) y requieren altas temperaturas ($> 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) y, por lo tanto, no pueden ser accionadas por captadores solares térmicos convencionales. Sin embargo, el mercado ha cambiado con los requisitos de temperatura de trabajo para los enfriadores y el rango de temperatura de los calentadores de agua solares avanzados y los concentradores solares. Estas temperaturas más altas de las instalaciones de calor de proceso solar y los captadores solares también son necesarios para acoplarlos a enfriadores más eficientes de doble y triple efecto. Además, varias empresas en Austria, China, Alemania, India, Italia, Irlanda y Japón ofrecen diseños de sistemas estándar para integrar y complementar otros sistemas. En consecuencia, ahora se pueden usar

FPC y ETC para impulsar sistemas de aire acondicionado y enfriamiento de losas en el rango de + 20 ° C a -10 ° C, mientras que los concentradores solares pueden usarse para impulsar la refrigeración hasta -20 ° C.

En 2013, se instalaron aproximadamente 1 000 sistemas de refrigeración solar, de los cuales 135 eran sistemas a gran escala. En 2007, solo el 10% de los sistemas de mayor escala fueron para aplicaciones industriales.

Algunos ejemplos recientes en la industria incluyen un sistema de enfriamiento en una fábrica de cosméticos en Grecia en 2007 (2x 350 kW de enfriamiento con 2 700 m² de FPC con adsorción), una bodega en Túnez en 2012 (12 kW de enfriamiento) y, en India, alrededor de diez proyectos. proporcionando refrigeración solar, principalmente para refrigeración de espacios. Además, se ha desarrollado un sistema de almacenamiento en frío híbrido térmico-biomasa para proporcionar refrigeración para productos agrícolas, con una capacidad de enfriamiento de 15 kW.

3.3 Integración en procesos industriales

La integración de los sistemas solares en procesos industriales no es una tarea nada sencilla y requiere un enfoque integral del sistema al completo, teniendo en cuenta numerosos parámetros: medidas de eficiencia energética, integración de procesos de recuperación de calor, y un detallado análisis de la demanda energética y de los diferentes niveles de temperatura de los procesos en el tiempo que podrían llevar a mejoras económicas, técnicas y organizacionales.

La integración solar en procesos industriales necesita prestar especial atención a los potenciales de ahorro de energía a través de la optimización tecnológica del proceso en concreto y de la optimización del sistema de producción al completo. En general, el sistema solar solo proporcionará una parte de la demanda energética total del proceso.

Las industrias con una demanda significativa de calor, normalmente poseen una caldera central que suministra energía térmica a los diferentes procesos (se utilizan gas natural, carbón, biomasa u otros combustibles para la generación de agua caliente o vapor). El calor generado en la caldera, generalmente, alimenta la red central de distribución de calor, donde con ayuda de intercambiadores, suministra calor a los procesos con la energía térmica necesaria.

La tecnología necesaria es muy parecida en comparación a la empleada en el sector doméstico salvo por tres consideraciones importantes:

1. La demanda exigida en un proceso industrial es mucho mayor.
2. Los procesos pueden ser continuos exigiendo un control más preciso.
3. Las temperaturas de los procesos normalmente son mayores, por lo que es necesario instalar captadores con una mayor concentración.

Una vez que alcanzada una visión general de los captadores existentes actualmente en

el mercado, es importante definir unos criterios para elegir el captador idóneo para el proceso industrial.

Existen algunos aspectos especialmente relevantes y que son necesarios considerar para identificar el captador óptimo como el espacio disponible, la temperatura de control y la forma de integrar la nueva instalación. La energía solar requiere de grandes áreas para poder instalar los captadores. Normalmente, todas las industrias disponen de un área no usada, normalmente en las azoteas de los edificios. Esta área debería ser suficiente, teniendo en cuenta ciertas excepciones. Otro punto importante se centra en la temperatura de operación ya que las industrias suelen ser bastantes sensibles en este punto. Sin embargo, el sistema de captadores debería proporcionar esta temperatura de operación sin ningún problema, siempre apoyado por un sistema auxiliar necesario ya que el sol es una fuente de energía variable.

Existen diferentes sistemas para proporcionar calor al proceso, pero pueden concretarse en dos principales, integración a nivel del suministro o integración a nivel del proceso.

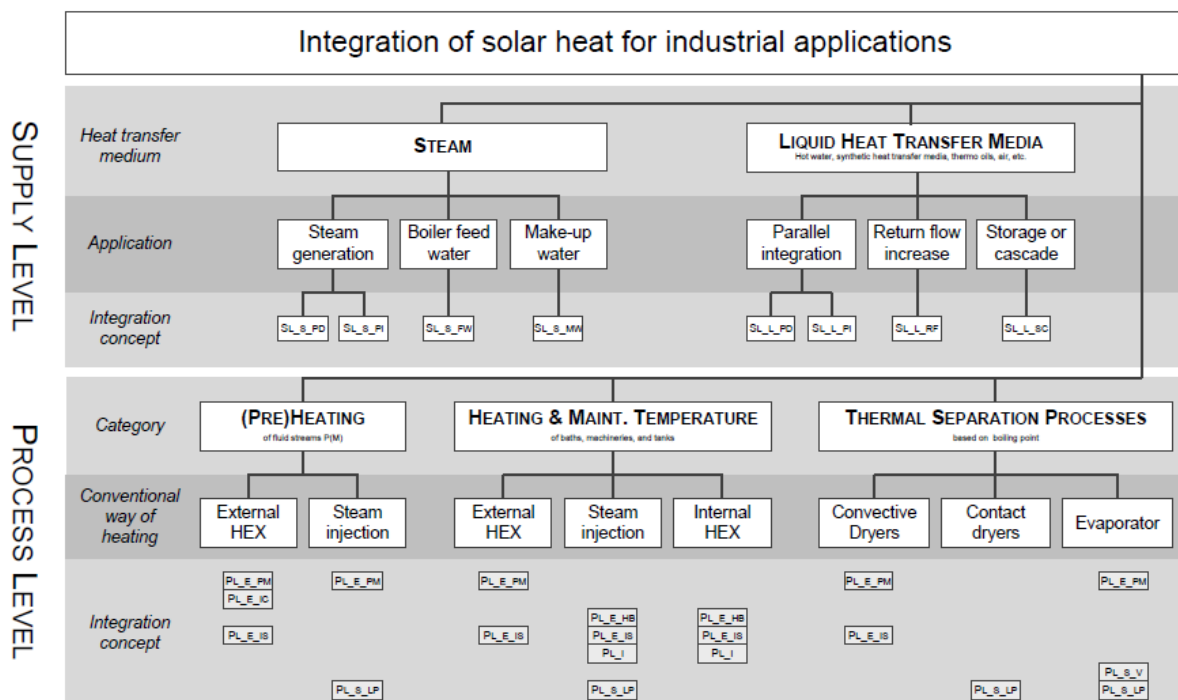


Tabla 4 - Integración de los sistemas de energía solar térmica en la industria [10]

Para encontrar un concepto de integración adecuado para un consumidor de calor, primero debe identificarse el nivel de integración.

3.3.1 Integración a nivel de suministro

Para un punto de integración en el nivel de suministro, se distingue entre el vapor y los medios de transferencia de calor líquidos. Los conceptos de integración para los medios de transferencia de calor líquido son válidos para agua caliente, medios sintéticos o aceites termales. Los diferentes soportes sólo provocarán diferencias en el tipo de

intercambiador de calor requerido. En principio, los conceptos de integración para los medios de transferencia de calor líquido también son válidos para el aire como medio de transferencia de calor.

Mediante el uso de vapor, se pueden realizar tres conceptos de integración diferentes: generación de vapor solar (integración paralela), calentamiento de agua de alimentación de la caldera y calentamiento de agua de manivela (integración en serie). La integración paralela se puede realizar directa o indirectamente (e.g., con el aceite termal o el agua presurizada). Los conceptos para la integración en serie para el agua de alimentación de la caldera de calor o el agua de maquillaje difieren principalmente en el nivel de temperatura respectivo y las posibles medidas de recuperación de calor que deben tenerse en cuenta. Además de la integración paralela y en serie del calor solar en sistemas convencionales de suministro de calor con medios de transferencia de calor líquido, también existe la posibilidad de calentar almacenajes o cascadas que forman parte del sistema de suministro de calor convencional.

La tabla 4 resume las todas las posibles integraciones a nivel de suministro. Para trabajar con las distintas distribuciones, se empleará la siguiente abreviación. Debido a que se trata de nivel de suministro, se usara SL. La tercera letra será S o L en función de si se trata de vapor o líquido. La cuarta letra revela el nivel de integración.

<i>Level of integration</i>	<i>Heat transfer medium</i>		<i>Conventional way of heating</i>	<i>Solar heat integration concept</i>	
<i>Supply Level</i>	<i>S</i>	<i>Steam</i>		<i>PD/PI</i>	<i>parallel integration (direct or indirect)</i>
				<i>FW</i>	<i>heating of feedwater</i>
				<i>M/W</i>	<i>heating of make-up water</i>
	<i>L</i>	<i>Liquid</i>		<i>PD/PI</i>	<i>parallel integration (direct or indirect)</i>
				<i>RF</i>	<i>return flow boost</i>

Tabla 5 - Integración a nivel de suministro [10]

3.3.1.1 Integración a nivel de suministro con vapor

Si se requieren niveles altos de temperatura para la integración paralela y por tanto, para la generación del vapor solar, se debe elegir cuidadosamente los captadores adecuados. Debido al hecho de que los principales sistemas que trabajan con vapor se encuentran a una temperatura de 150°, se debe trabajar normalmente con captadores de concentración. Por tanto, los datos de irradiación de la ubicación yn la que se instalen

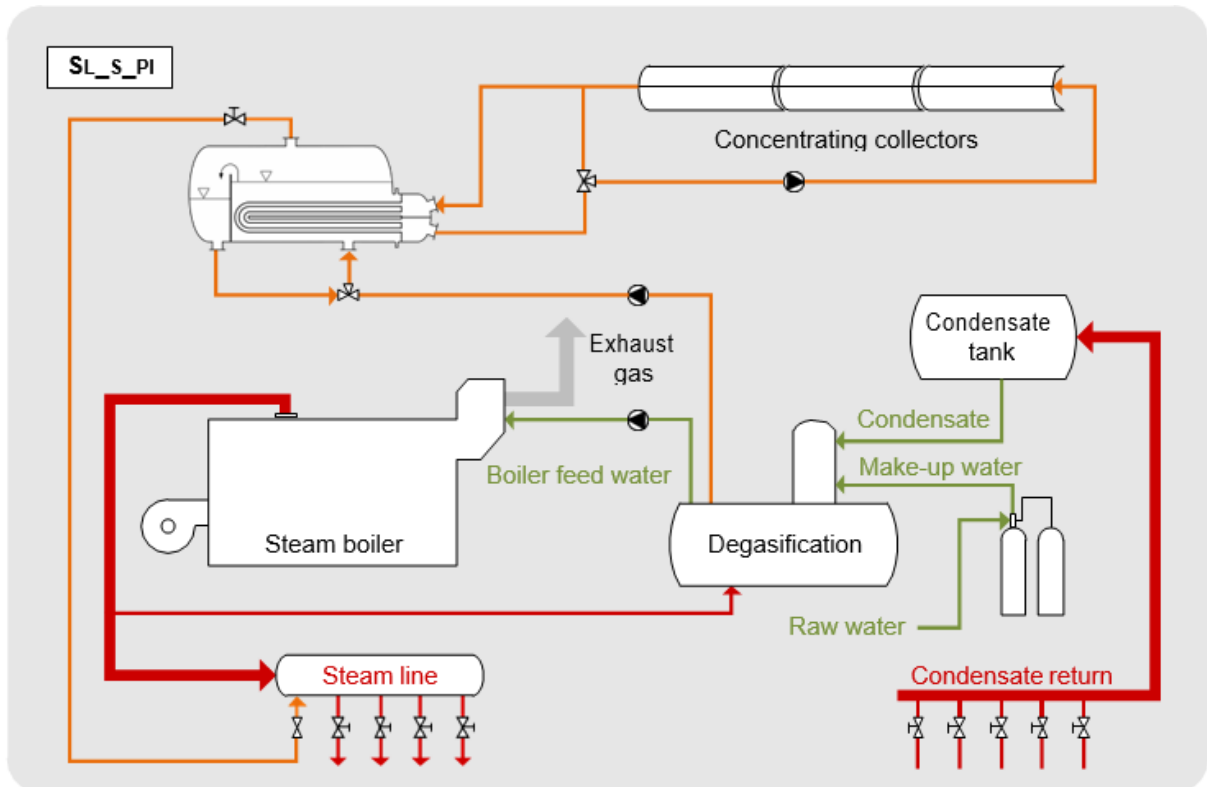


Figura 26 - Generación solar indirecta de vapor [10]

3.3.1.1.3 Precalentamiento de agua de alimentación de la caldera

La integración de la energía solar térmica en el proceso de precalentamiento de agua de alimentación tiene lugar después de la degasificación. Este proceso se puede observar en la Figura 27.

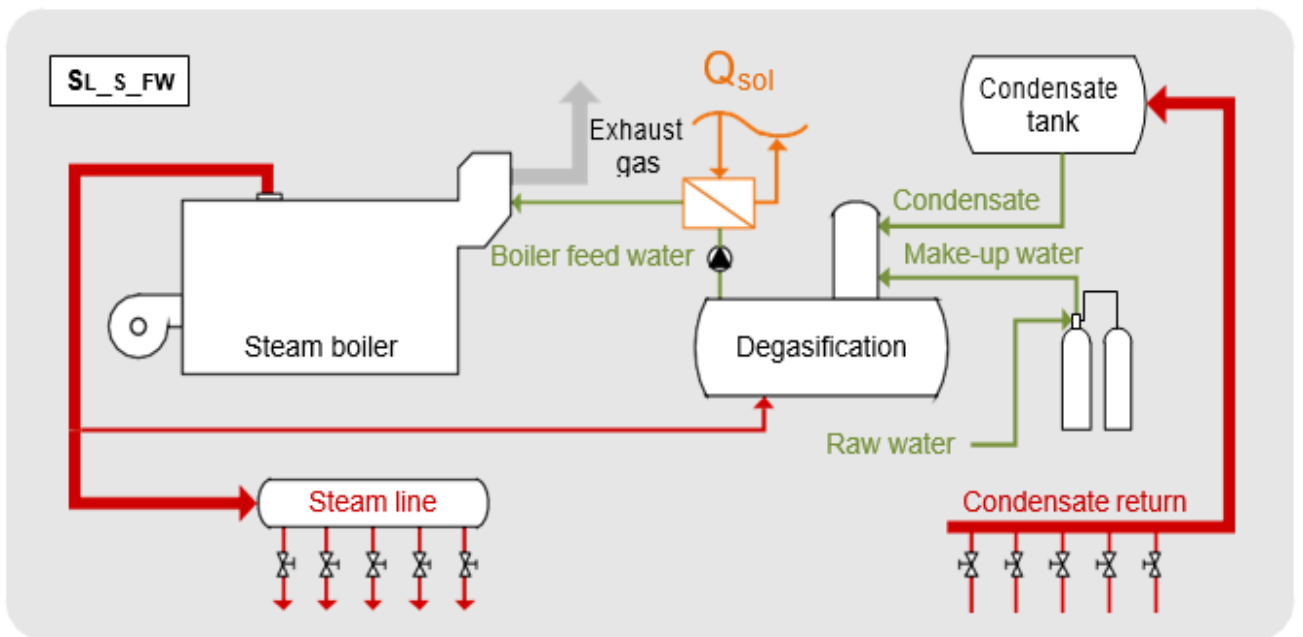


Figura 27 - Precalentamiento de agua de alimentación de la caldera [10]

La temperatura del agua de alimentación de la caldera depende de la presión de suministro de la caldera y está generalmente en la gama de 160 - 220 °C. Normalmente, el agua de alimentación de la caldera es precalentada por un economizador antes de entrar en la caldera de vapor, alrededor de 30 °C.

La diferencia de temperatura restante la suministra la energía solar térmica. Basándose en el dimensionamiento de los economizadores, no siempre es posible un precalentamiento solar del agua de alimentación de la caldera antes del economizador.

3.3.1.1.4 Precalentamiento de agua de reposición

La última integración de los sistemas de vapor se centra en el precalentamiento del agua de reposición para compensar las pérdidas de condensación causadas por la destilación flash, purgas y el consumo directo de vapor.

En principio, el agua puede ser calentada antes de la desgasificación. Sin embargo, las fuentes de calor residual dentro de la caldera pueden disminuir ostensiblemente el potencial de esta variante.

Este tipo de precalentamiento viene representado en la Figura 28.

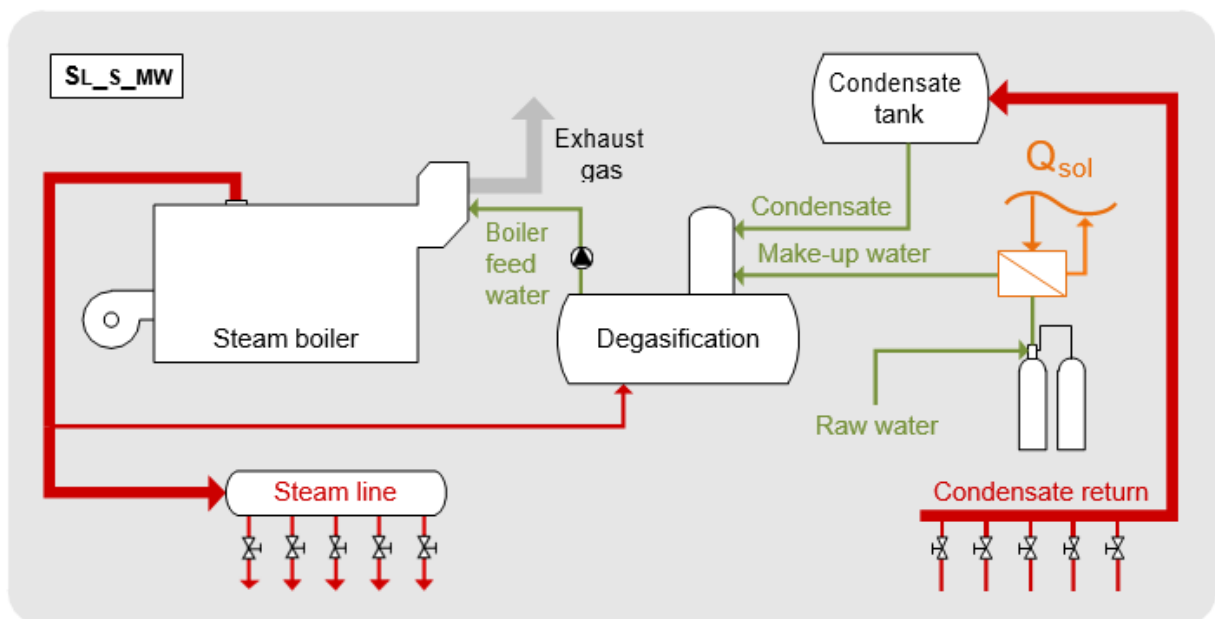


Figura 28- Precalentamiento de agua de reposición [10]

3.3.1.2 Integración a nivel de suministro con fluido caloportador

Empleando fluidos caloportadores, se pueden emplear otros conceptos para la integración de sistemas de energía solar térmica. Además de la integración paralela, también es posible calentar depósitos o cascadas que se integren en el sistema de suministro de calor convencional.

Debido a la relevancia en la industria, la aplicación principal de estos conceptos de integración se centra en los circuitos de agua caliente. Sin embargo, también se pueden aplicar a medios sintéticos de transferencia de calor y aceites temarles que emplean

temperaturas de 250 hasta 400 °C.

3.3.1.2.1 Integración directa a nivel de suministro con fluido caloportador

Para la integración de energía solar térmica en circuitos de agua caliente, el retorno se divide antes de la caldera convencional y se dirige parcialmente a través del sistema de captadores solares de concentración como se puede observar en la Figura 29. Posteriormente, este flujo dividido vuelve al flujo principal. Por lo tanto, el control del sistema de energía solar térmica tiene que asegurar que el flujo se calienta hasta la temperatura requerida.

Esta integración puede ser directa, como es el caso de la Figura 30 o indirecta, para lo cual habría que emplear un intercambiador.

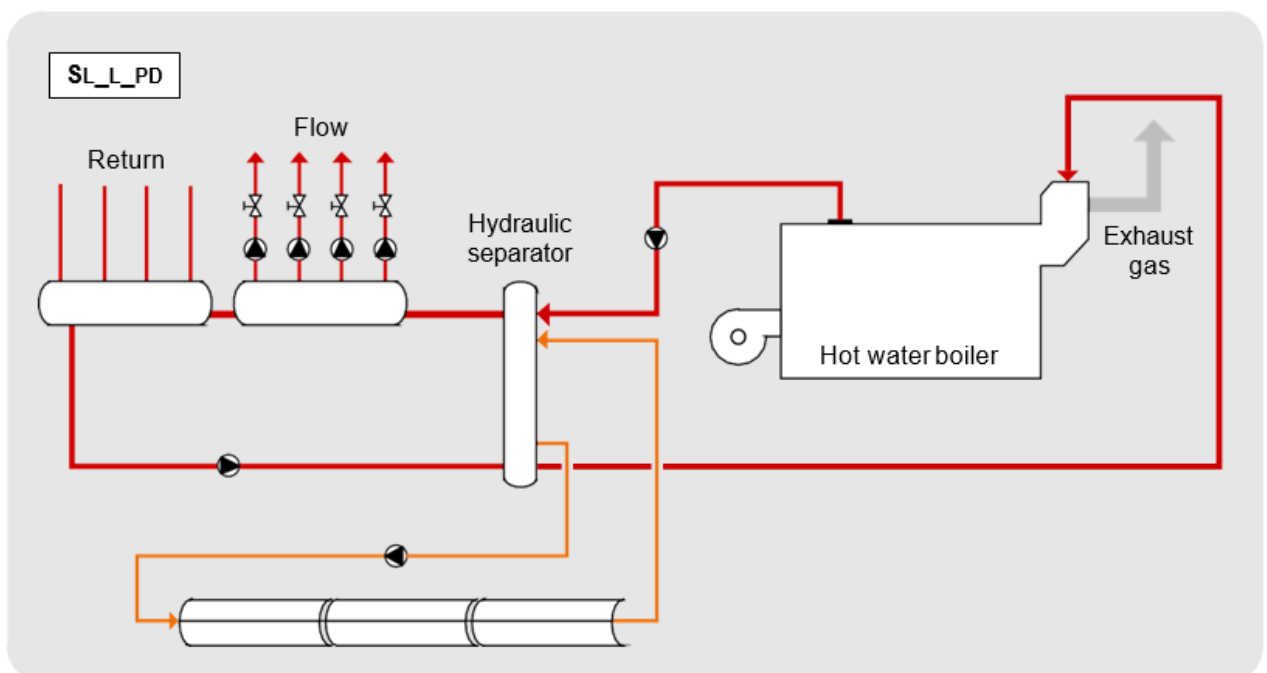


Figura 29- Integración directa en paralelo a nivel de suministro con fluido caloportador [10]

3.3.1.2.2 Integración en serie a nivel de suministro con fluido caloportador

La integración en serie es similar a la anterior con la diferencia que en el retorno el fluido es precalentado, lo que se puede contemplar en la Figura 30. Por lo tanto, no existe una temperatura fija que deba ser alcanzada en los sistemas térmicos solares.

Este sistema puede no ser deseado por el operador de planta si la eficiencia del sistema convencional se ve afectado de una forma negativa

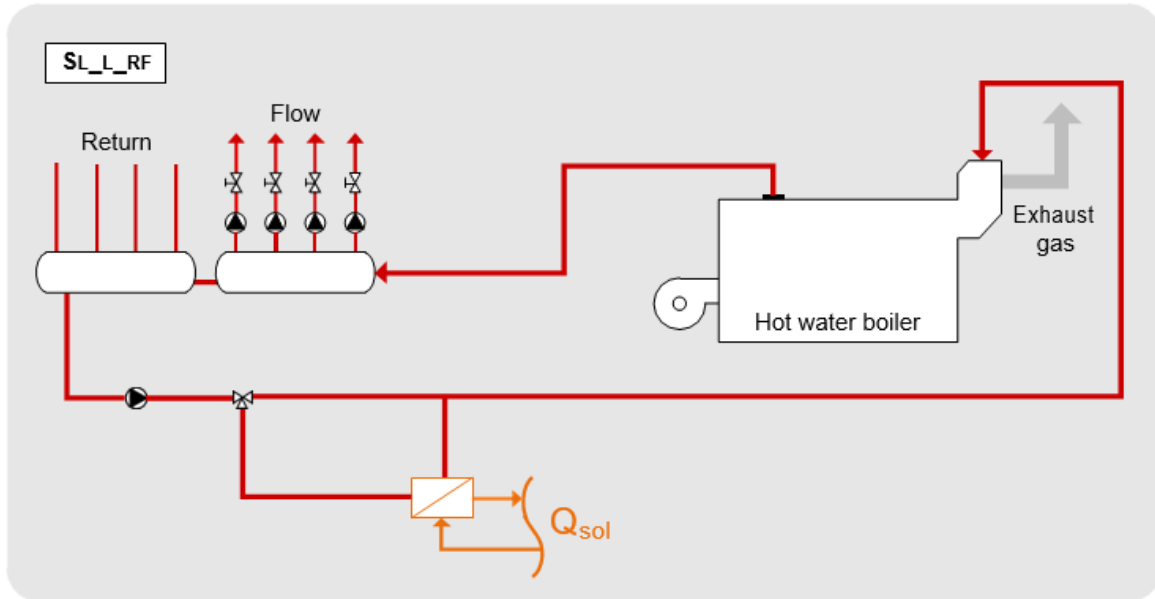


Figura 30 - Integración en serie a nivel de suministro con fluido caloportador [10]

3.3.1.2.3 Energía solar térmica para depósitos y cascadas

Hay muchos tipos diferentes y posibilidades de conexión para depósitos de agua caliente y cascadas en la industria. La Figura 31 lo ilustra.

Existen depósitos con volumen fijo o variable. Basándose en el número real de depósitos y su configuración, el calor solar se puede utilizar para precalentar las corrientes de entrada o para mantener la temperatura del almacenamiento.

Además, las cascadas de agua caliente se pueden suministrar con calor solar. Generalmente el agua caliente en retorno alimenta a una cascada y se calienta por inyección del vapor. El concepto de integración de las cascadas de agua caliente es similar a la integración en serie de suministro con fluido caloportador, ya que el flujo de retorno se precalienta antes de entrar en la cascada.

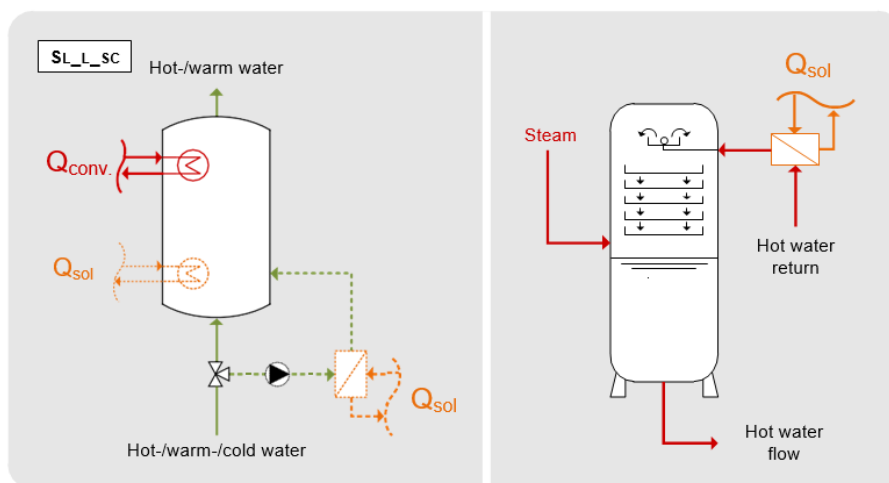


Figura 31 - Integración en depósitos de agua caliente y cascada [10]

3.3.2 Integración a nivel de procesos

Basándose en la categoría del consumidor de calor en combinación con la forma convencional de suministro de energía térmica, se pueden aplicar diferentes conceptos de integración para el calor solar. A nivel de procesos, se distinguen tres clases generales de conceptos de integración.

La primera clase es la integración de un intercambiador de calor externo que es alimentado por energía solar térmica. Por lo tanto, existen cuatro conceptos de integración básicamente modelables: integración de un intercambiador de calor externo adicional para el producto o medio de proceso en serie al convencional, calefacción solar de un circuito intermedio de agua caliente, calor solar para el calentamiento externo de baños, maquinarias o tanques, y precalentamiento de los flujos de entrada de los medios de producto o proceso.

La segunda clase es la integración de una superficie adicional del cambiador de calor dentro de los baños, de los mecanismos o de los tanques.

La tercera clase es la generación solar de vapor con vacío o baja presión.

Level of integration	Heat transfer medium	Conventional way of heating		Solar heat integration concept	
Process level		E	external heat exchanger	PM	heating of process medium
				IC	heating of intermediate hot water circuit
				HB	heating of bath, machinery, or tank
				IS	heating of input streams
		I	internal HEX		
		S	steam supply	V	vacuum steam
				LP	low pressur steam

Tabla 6 - Integración a nivel de procesos [10]

3.3.2.1 Integración a nivel de procesos mediante intercambiador externo

3.3.2.1.1 Integración de energía solar térmica para un producto o procesos mediante intercambiador externo

Este concepto de integración es el más común ya que solo introducimos un intercambiador operado mediante energía solar térmica en serie a la fuente de calor convencional. Permite calentar un producto o un agente empleado en un proceso. Se puede observar en la Figura 32.

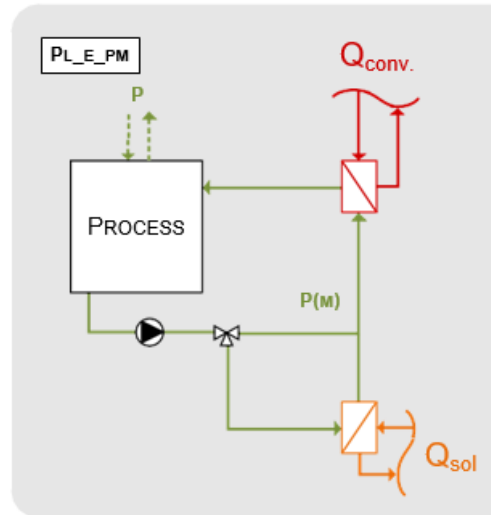


Figura 32- Integración de energía solar térmica para un producto o procesos con intercambiador externo [10]

En la Figura 33 se puede contemplar un ejemplo de esta integración en un proceso de esterilización en el que se emplea agua como fluido caloportador.

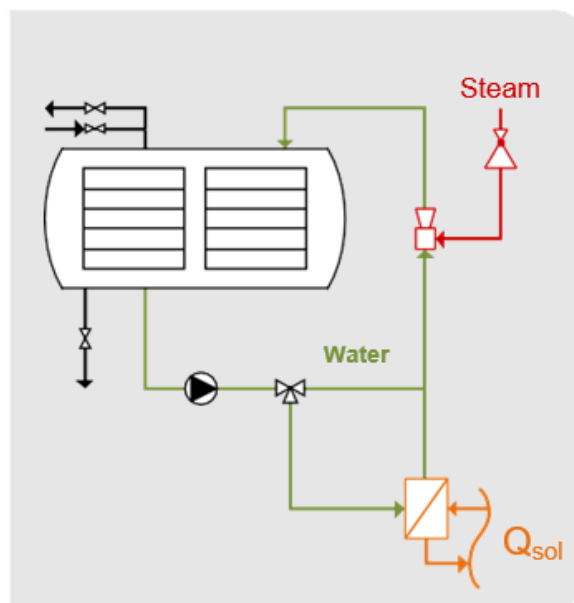


Figura 33 - Integración en un proceso de esterilización con autoclave [10]

3.3.2.1.2 Integración de energía solar térmica en un circuito intermedio de agua mediante intercambiador externo

Dentro del sector alimentario y de bebidas, el agua caliente suele usarse para calentar productos delicados. Por lo tanto, la temperatura es ligeramente superior a la temperatura de ajuste del producto ya que, durante el circuito, pierde cierto calor.

La integración suele ser más fácil en caso de que el intercambiador de calor o las instalaciones de seguridad requeridos, en comparación con la calefacción solar directa de los productos.

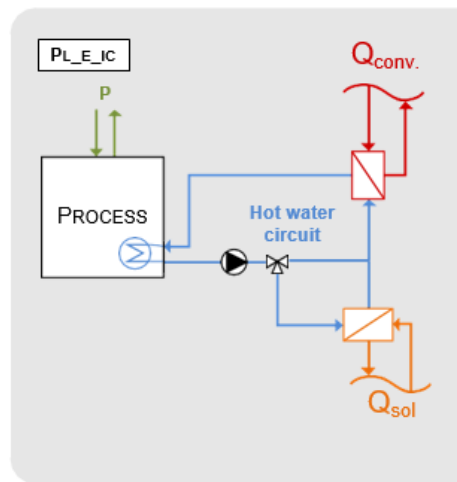


Figura 34 - Integración de energía solar térmica en un circuito intermedio de agua mediante intercambiador externo [10]

En la Figura 35, se observa un proceso de pasteurización en el que se emplea la energía solar para calentar un circuito de agua caliente interno.

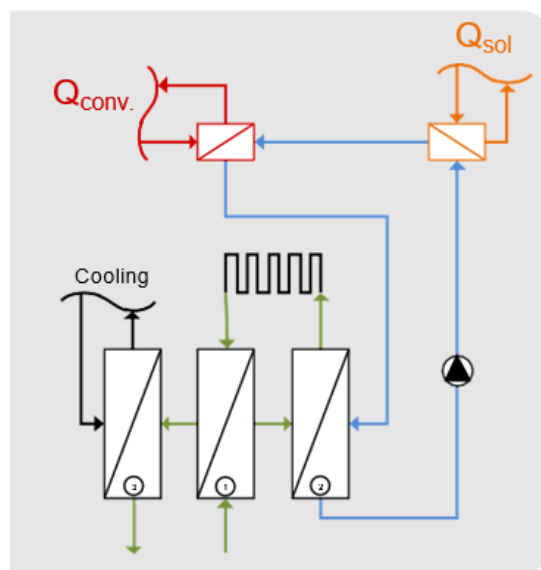


Figura 35 - Integración en un proceso de pasteurización [10]

3.3.2.1.3 Integración de energía solar térmica para el calentamiento de baños, maquinaria o tanques empleando intercambiador externo

Este concepto de integración se utiliza para calentar baños, maquinarias o tanques a través de un intercambiador de calor externo adicional. Por lo tanto, el producto o medio de proceso se extrae del baño, maquinaria o tanque, calentado por energía solar y retroalimentado.

Es crucial que este concepto de integración identifique una posición o punto adecuado en el tiempo dentro del proceso donde la temperatura del producto o medio de proceso es relativamente baja.

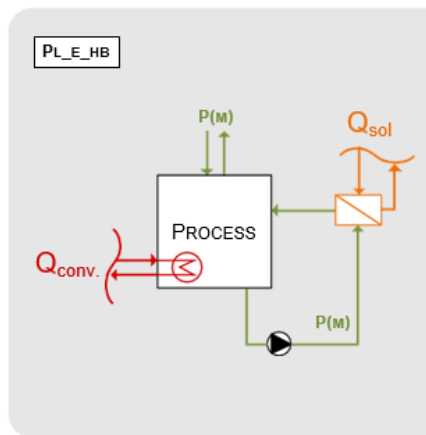


Figura 36 - Integración de energía solar térmica para el calentamiento de baños, maquinaria o tanques empleando intercambiador externo [10]

Si el producto o medio de proceso debe mantenerse en un rango de temperatura muy estrecho (debido a problemas operacionales), la diferencia de temperatura resultante para la calefacción solar podría ser muy pequeña.

En la Figura 37, se puede observar un proceso de galvanizado empleando la integración anterior.

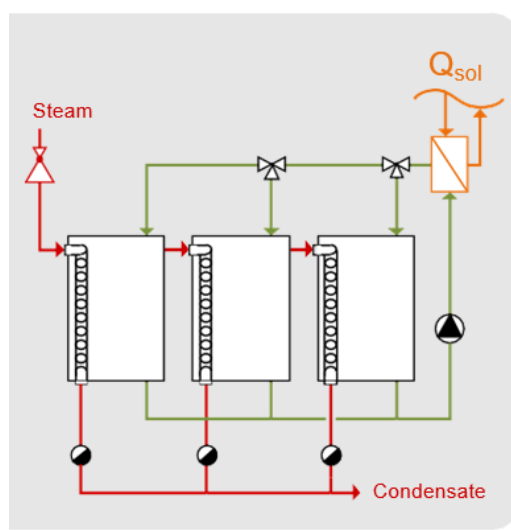


Figura 37 - Integración mediante intercambiador exterior en un proceso de galvanizado [10]

3.3.2.1.4 Integración de energía solar térmica para el calentamiento de flujos de entrada empleando intercambiador externo

La cuarta posibilidad de integración de intercambiadores de calor externos se centra en el calentamiento de los flujos de entrada. Muchos procesos requieren la entrada continua o por lotes de los flujos de productos o procesos que requieren de una mayor temperatura.

Como se puede observar en la Figura 38, las líneas punteadas indican la posibilidad de instalar un sistema convencional.

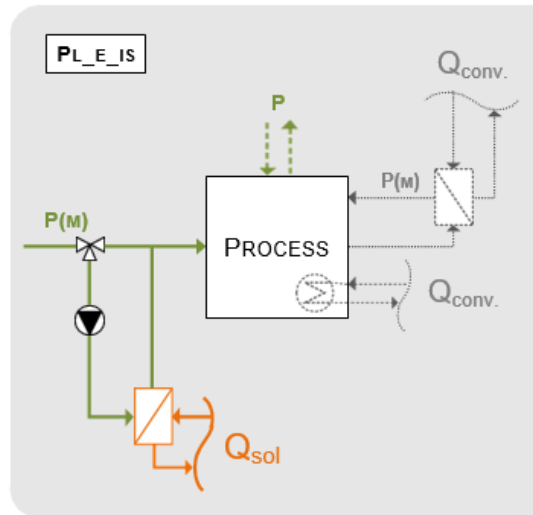


Figura 38 - Integración de energía solar térmica para el calentamiento de flujos de entrada empleando intercambiador externo [10]

La Figura 39 representa un ejemplo muy ilustrativo. El baño de escaldadura que sirve para desplumar a los pollos se calienta por la inyección directa de vapor, de una manera convencional. Basándose en la descarga de agua de los canales y desagüe, una importante cantidad de agua se repone mediante precalentado por energía solar.

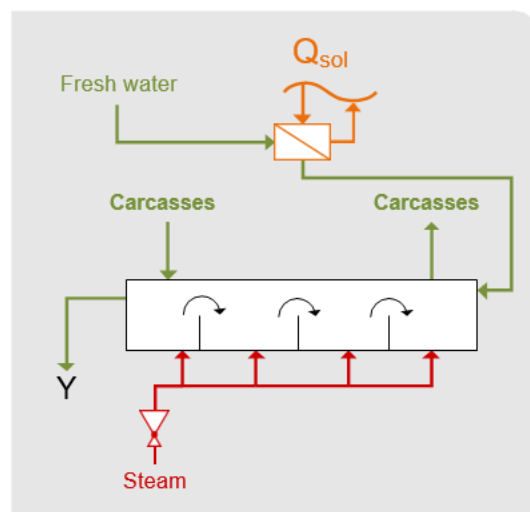


Figura 39 - Integración de energía solar térmica para el proceso de escaldado en una granja de pollos [10]

3.3.2.2 Integración a nivel de procesos con intercambiador interno

Además de la integración de intercambiadores de calor externos, los procesos pueden ser suministrados con energía térmica por intercambiadores de calor internos.

Por lo tanto, la segunda categoría para la integración del calor solar a nivel de procesos es la integración de un intercambiador de calor adicional dentro de los baños, maquinarias, o tanques, por lo tanto, se utiliza para la categoría *Calefacción y mantenimiento de la temperatura de los baños, maquinarias, o tanques*.

Para este concepto es importante considerar el espacio disponible en el equipo de proceso ya que suele ser limitado debido al producto tratado o componente.

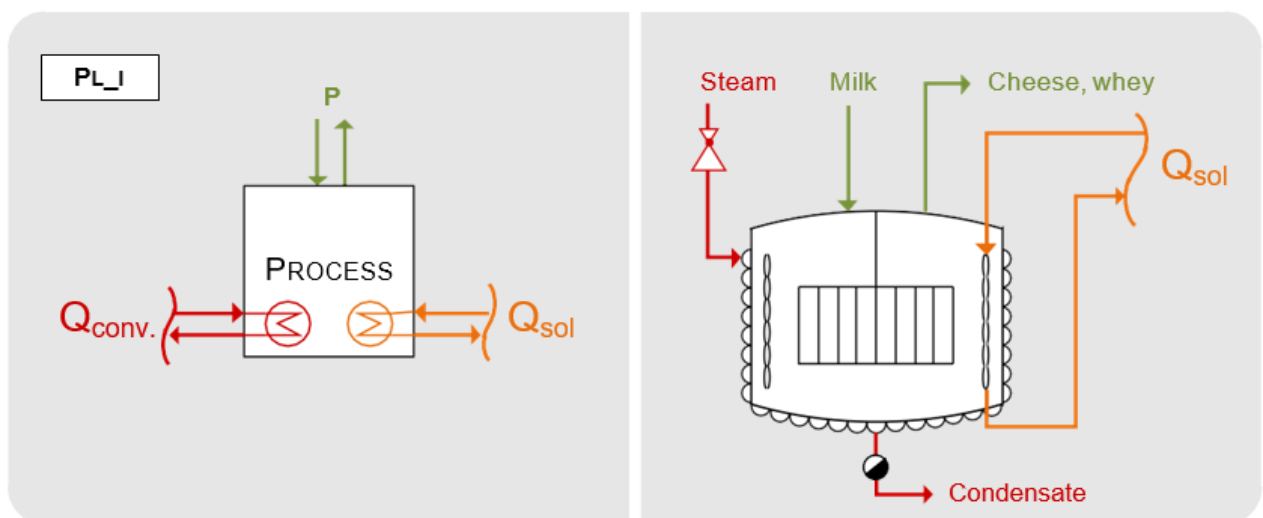


Figura 40 - Integración a nivel de procesos con intercambiador interno [10]

3.3.2.3 Integración a nivel de procesos con vapor y presión reducida

La tercera clase para la integración de calor solar cubre la generación de vapor solar con presión reducida. Por lo tanto, se pueden aplicar dos conceptos para suministrar vapor con vacío o con baja presión a un rango de temperatura de 110-135 ° c.

3.3.2.3.1 Integración a nivel de procesos para la generación de vapor en vacío

La generación solar del vapor dentro de un vacío se puede aplicar para los procesos numerosos de la evaporación, por ejemplo, en la industria alimentaria y de la bebida, puesto que las temperaturas de proceso típicas están en la gama de 40-80 °. Un esquema de esta integración se puede ver en la Figura 41.

Por lo tanto, se requiere un almacenamiento evacuado con un intercambiador de calor convencional. El condensado del proceso de la evaporación es precalentado por la energía solar y alimentado en el almacenaje evacuado. El condensado evaporado se vuelve a alimentar en el proceso de evaporación.

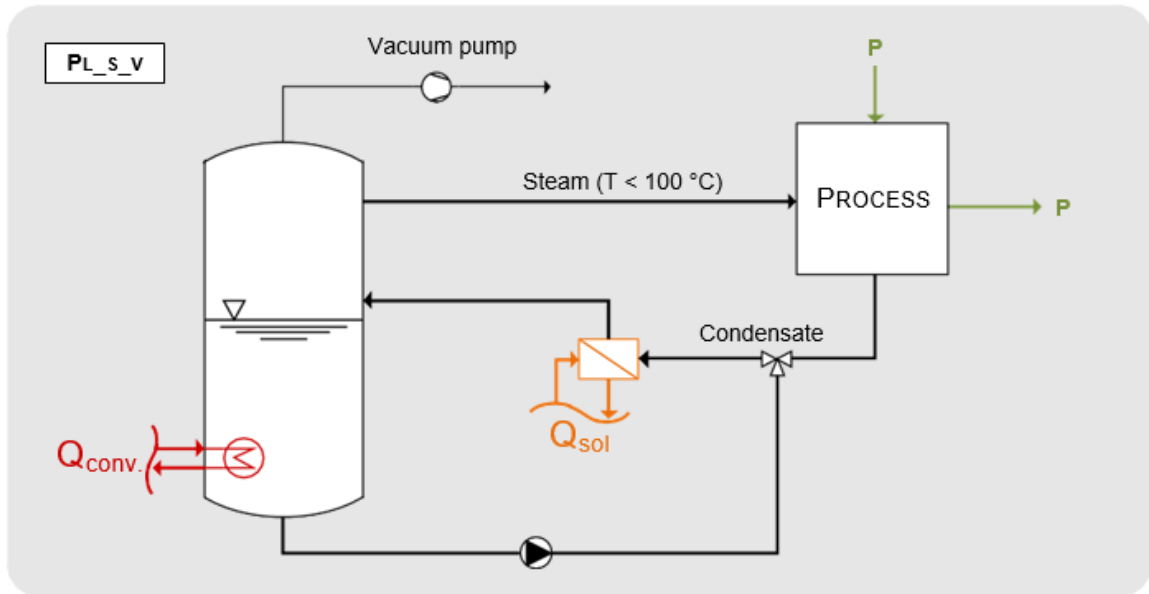


Figura 41 - Integración a nivel de procesos para la generación de vapor en vacío [10]

3.3.2.3.2 Integración a nivel de procesos para la generación de vapor a baja presión

Para el suministro de vapor solar con una presión reducida de 110-135 °C se requiere una caldera recalentadora que se alimenta con calor solar. Como se puede observar en la Figura 42, el agua de alimentación o condensado se introduce en la caldera, se evapora y se utiliza para calentar el proceso. Por lo tanto, se reduce la demanda convencional de vapor para el calentamiento por inyección.

Basándose en las instalaciones necesarias, este concepto de integración es similar al SL_S_PI en el nivel de suministro. La única diferencia es el nivel de temperatura reducido en comparación con los sistemas convencionales de vapor en la industria. Por lo tanto, este concepto de integración también puede aplicarse en condiciones climáticas moderadas.

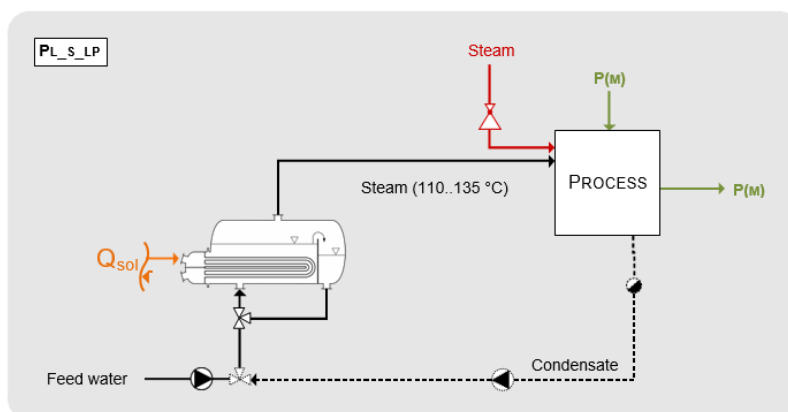


Figura 42 - Integración a nivel de procesos para la generación de vapor a baja presión [10]

4 PROCESOS Y SECTORES POTENCIALES

4.1 Procesos dominantes

La energía solar térmica se integra a nivel de procesos o a nivel de suministro, dependiendo de la industria.

A nivel de suministro, el precalentamiento del agua de alimentación de un sistema de agua caliente o de producción directa de vapor son las principales aplicaciones. Este nivel de suministro requiere una alta temperatura lo que puede convertirse en un problema en regiones con un clima desfavorable.

La temperatura requerida para un proceso industrial es crucial para que el proyecto sea factible. El rendimiento energético anual depende de la temperatura a la que se pueda trabajar.

La mayoría de los procesos industriales se centran en un rango de temperatura entre los 60 y los 100 °C. La Figura 43 ilustra este dato.

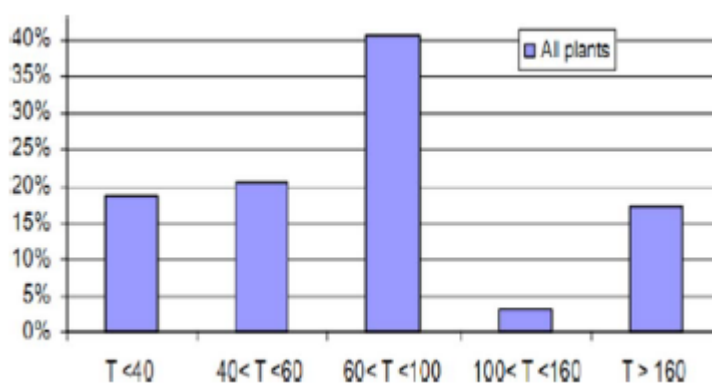


Figura 43 - Temperatura de trabajo en los procesos térmicos solares existentes [7]

Algunos de estos procesos industriales más empleados son el calentamiento de agua, el secado o calentamiento de baños y tanques, como se observa en la Figura 44.

Los principales sectores industriales que, por sus características y altos requerimientos energéticos, pueden ser identificados como susceptibles de ser tratados mediante energía solar térmica de alta temperatura son aquellos que por lo general implican procesos de síntesis, obtención y tratamiento de materiales, residuos o productos químicos a alta temperatura. Estos procesos corresponden principalmente a la industria metalúrgica, industria química, industria cerámica, producción de cemento, cal y yeso, fabricación de vidrio y tratamiento de residuos a alta temperatura.

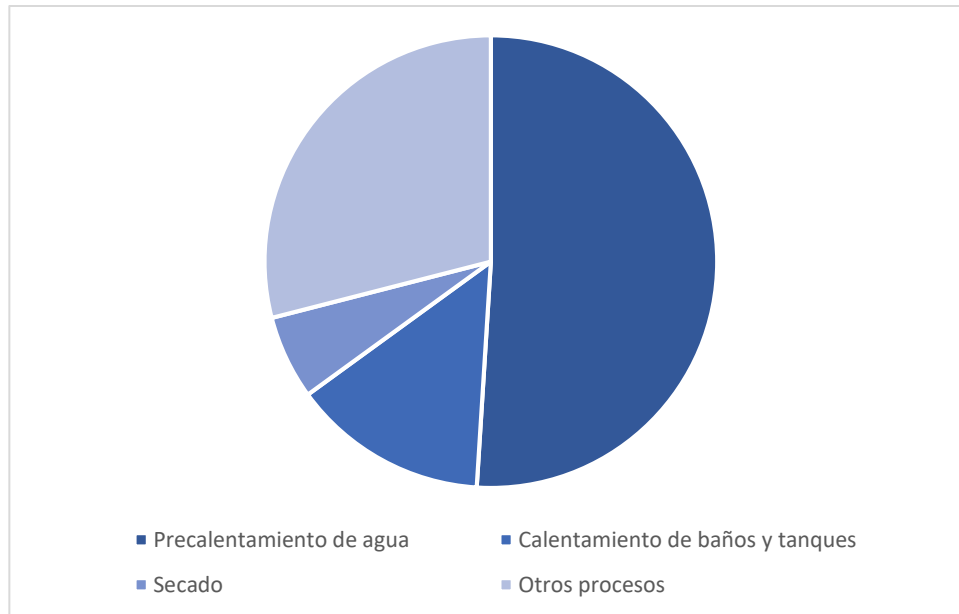


Figura 44 - Tipos de procesos de baja y media temperatura con energía solar térmica

Industrial sector	Process	Temperature level [°C]
Food and beverages	drying	30 - 90
	washing	40 - 80
	pasteurising	80 - 110
	boiling	95 - 105
	sterilising	140 - 150
	heat treatment	40 - 60
Textile industry	washing	40 - 80
	bleaching	60 - 100
	dyeing	100 - 160
Chemical industry	boiling	95 - 105
	distilling	110 - 300
	various chemical processes	120 - 180
All sectors	pre-heating of boiler feed water	30 - 100
	heating of production halls	30 - 80

Figura 45- Sectores y procesos industriales con más potenciales para usos de ETS [11]

A continuación, se desarrollan los principales procesos que se encuentran en la industria.

4.1.1 Calentamiento de agua

El proceso de calentar agua con fuentes de energía convencional funciona con un equipamiento mucho más pequeño que con intercambiadores. Para integrar un sistema de energía solar térmica, el diseño debería estar centrado en operar en los niveles más bajos de temperatura después de incrementar al máximo la eficiencia del captador.

El calentamiento solar de agua (SWH) constituye la mayor parte de la industria solar térmica con costes más beneficios que todas las demás tecnologías solares disponibles.

Industry	Country	Name	Industrial Operation	Solar Collector	Temperature(°C)	
Automobile	South Africa	BMW Manufacturing	Paint application process	Evacuated tube collector	-90	
	USA	Milwaukee Brewing Co.	Consumption	Flat plate collector		
	Germany	Hutt Brewery	Heating the brewing water	Flat plate collector	40-95	
Food	China	Chongqing Beverage	Heating for warehouse	Evacuated tube collector		
	Saudi Arabia	Nestle Waters	Bottle washing	Flat plate collector		
	Mexico	Aviary Food Pellet El Paisa	Heating water	Parallel trough collector	-95	
	Greece	Alpino S.A.	Hot water preheating in steam boiler	Flat plate collector	20-70	
			Cleaning equipment	Other or various collectors	20-90	
	Austria	Futtermittel Fruit Juice	Makeup water	Flat plate collector		
		Moguntia Spice Making	Cleaning and production process	Flat plate collector		
	Portugal	Knoww Best Foods S.A.	Tools washing	Flat plate collector	40-45	
	Spain	Montesano-canary islands	Wash meat derivatives	Flat plate collector	40-60	
	Czech Republic	PETA Bohemia Pekarna Sobeslav	Bakery	Flat plate collector	10-90	
Textile	Netherlands	Perfetti van melle	Preheating of hot water and process heat	Flat plate collector		
	Jordan	Seniora Food Industries	Degreasing & cleaning requirements	Evacuated tube collector		
	USA	Acme McCarry	Textile drying process	Flat plate collector		
	Greece	Allegro S.A. Childrens' clothing manufacturer	Washing machines	Flat plate collector	33-60	
		Kastrinagianis S.A.	Dyeing machines	Flat plate collector	40-90	
	China	Daly Textile	Dyeing process	Flat plate collector	-55	
	India	Sharman Shawls	Dyeing, bleaching & washing garments	Flat plate collector	-100	
	Mining	Germany	Schiffer GmbH & Co KG	Galvanic baths	Evacuated tube collector	40-70
			Steinbach und Vallmann	Galvanic baths	Evacuated tube collector	60-80
	Chemical	India	L'oral Pune	Cleaning process	Flat plate collector	-55
Agriculture	Spain	Acuinova Andaluca S.A.	Heating Water	Flat plate collector	23-26	
	China	Hongxin Aquaculture	Water Heating	Evacuated tube collector		
	Germany	Woltow	Water Heating	Parallel trough collector		
	Austria	Gerberei Kolblinger	The wet process of leather retanning	Flat plate collector		
Leather	India	SKF Technologies Mysore	Circulation	Parallel trough collector	-95	
Fabricated Metal	India	Chelsea Jeans	Dyeing process	Flat plate collector		
Wearing Apparel	India	Bosmas Lackering	Chemical baths	Parallel trough collector	-160	
Computer, electronic & optical products	Sweden	Hoval Marchtrenk	Powder coating	Flat plate collector		
Machinery	Austria	Kral Pump Factory	Space heating	Evacuated tube collector		

Figura 46 - Industrias que trabajan con sistemas solares de calentamiento de agua [12]

4.1.2 Procesos de secado

En los procesos de secado, la humedad debe ser eliminada del material como condición primaria. La mayoría de los procesos de secado se centran en el secado de comidas, plantas, frutas y minerales,

Con el calentamiento con calor solar, el secado lo produce el aire caliente. Por lo tanto, los sistemas solares pueden trabajar con sistemas de aire directamente o intercambiadores.

El potencial que tiene estos sistemas puede beneficiar a plantas, frutas, maderas, textiles, cueros, etc...

Industry	Country	Name	Industrial Operation	Solar Collector	Temperature (°C)
Breweries	Germany	Newmarketer Lammsbraw	Drying process	Air collector	-60
		Carriers & Sons	Drying	Air collector	-43
Food	USA	Keyaqa Orchards	Walnuts Drying	Air collector	-43
		Kreher's Poultry Farms	Drying of chicken Eggs	Air collector	
		Stapleton Spence Fruit Packing Co.	Rehydrate Dried Foods	Unglazed Collector	
		Sunsweet Dryers	Prune Drying	Air collector	10-15
	India	Kaveri Agricare Pvt. Ltd.	Drying Coir Peat	Air collector	-105
	Costa Rica	Coopeldos	Coffee Drying	Air collector	40-45
	Panama	Duren Coffee	Coffee Drying	Air collector	40-45
	China	Gengli Fruit Drying	Fruit drying	Air collector	50-70
	Indonesia	Malabar Tea Drying	Tea drying	Air collector	-35
	Mining	Austria	Korner Kvk	Preheating, drying	Flat plate collector
Agriculture	India	AMR dal Mill	Drying of Pulse	Air collector	65-75
	Romania	Aroma Plant Romania	Drying of Medicinal Plants	Air collector	
	USA	Sonoma Country Herb Exchange	Drying of Herbs	Air collector	
	Germany	Krimmer	Drying of Wild Flower Seeds	Flat plate collector	
Leather	India	Leo Leather	Chemical mixing, drying	Flat plate collector	
Fabricated Metal	Germany	Lackiercenter Shulte	Drying Chamber	Evacuated tube collector	
	Portugal	Silamos S.A.	Drying finished product	Parallel trough collector	50-160
Tobacco	Argentina	Grammer Solar Argentina	Drying of tobacco	Air collector	
Rubber & Plastic Products	Thailand	Inter Rubber Latex Co. Ltd.	Drying of natural rubber	Air collector	
Concrete	Austria	Leitt Beton GmbH	Drying of pre-fabricated concrete components	Flat plate collector	
Furniture	Austria	Carpentering Hammingner	Wood Drying	Flat plate collector	25-115
Repairing & Installation	Germany	Lackiererei Vogel	Drying process	Evacuated tube collector	22-24,60-70

Figura 47 - Industrias que trabajan con sistemas de secado solar [12]

4.1.3 Procesos de precalentamiento

La energía térmica solar es perfecta para los procesos de precalentamiento con

aplicaciones de baja temperatura. El calor desperdiciado, aire comprimido de compresores, equipos de producción de frío y gas de las máquinas sirven como alternativa térmica.

Algunos de los ejemplos típicos son agua caliente y el agua que alimenta una caldera.

Industry	Country	Name	Industrial Operation	Solar Collector	Temperature(°C)
Breweries	USA	Gatorade	For soft drink production	Flat plate collector	-35
	Germany	Brauerei Hald (brewery for beverages)	Preheating of bottles	Flat plate collector	40-120
		Newmarketer Lammsbräu	For drying process	Air collector	-60
Food	Czech Republic	Cider House Hostetin	Cider before pasteurization & for bottle washing	Flat plate collector	
	Mexico	Durango Dairy Company	Boiler Preheating	Parallel trough collector	20-95
	Spain	Industria Alimentaria Alcoyana	Boiler feed water for	Flat plate collector	40-130
		Metadero Montesierra	Boiler feed water	Flat plate collector	40-60
		TE-PE S.A.	Boiler feed water	Flat plate collector	40-130
	Netherlands	Perfetti van melle	Hot water and process heat	Flat plate collector	
	China	Gengli Fruit Drying	For fruit drying	Air collector	50-70
Textiles	China	Jiangsu Printing & Dyeing	For printing & dyeing process	Evacuated tube collector	-50
Mining	Austria	Korner Kvk	Preheating, drying	Flat plate collector	50-80

Figura 48 - Industrias que trabajan con procesos de precalentamiento solar [12]

4.1.4 Procesos de producción de vapor

El calentamiento por vapor solar se realiza con fuentes de energía convencionales que funcionan con equipos más pequeños, como los intercambiadores de calor. Para integrar un sistema de energía solar, el diseño debe centrarse en operar a los niveles de temperatura más bajos después de aumentar la eficiencia del captador. Estas aplicaciones constituyen la mayor parte de las aplicaciones térmicas solares industriales, con la rentabilidad de todas las tecnologías térmicas solares disponibles en la actualidad.

Industry	Country	Name	Industrial Operation	Solar Collector	Temperature (°C)
Food	USA	Frito Lay	Steam for Heating	Parallel trough collector	-243
	Switzerland	Emmi Dairy Saignelsgier	Different drying processes	Parallel trough collector	140-180
Textile	India	Purple Creations	Steam processing & washing	Other or various collectors	
Chemical	China	Solar steam boiler for procter & gamble (Tianjin)	Steam generation	Parallel trough collector	-130
Fabricated Metal	Germany	Alanod Solar	Production of saturated steam	Parallel trough collector	-143

Figura 49- Industrias que trabajan con sistemas de producción solar de vapor [12]

4.1.5 Procesos de pasteurización y esterilización

Las industrias lácteas pueden utilizar la energía solar para operaciones de proceso, ya que funcionan ininterrumpidamente. Entre los procesos solares empleados, la pasteurización y la esterilización son los que consumen la mayor parte de la energía donde la mayor diferencia se encuentra en la fase en la que se encuentra el medio.

La pasteurización embotellada requiere un medio de transferencia de calor porque es imposible aplicar un intercambio de calor directo. El medio de transferencia de calor se puede conectar a una planta térmica solar para pasteurizar y esterilizar.

Industry	Country	Name	Industrial Operation	Solar Collector	Temperature(°C)
Breweries	Austria	Gangl Fruit Juices	Pasteurization	Flat plate collector	95-105
	Austria/Mexico	Metbrauerei Newwirth	Pasteurization, sterilization	Flat plate collector	50-95
Food	Mexico/India	Dairy Plant Ladonita	Pasteurization	Parallel trough collector	60-95
		Nestle Dairy Plant	Pasteurization	Parallel trough collector	80-95
	India/Austria	Nestle Dairy Plant-Lagos ds Moreno	Pasteurization	Parallel trough collector	80-95
		B.G. Chitale	Pasteurization of milks	Other or various collectors	~150
		Indian Institute of Horticulture	Pasteurization of straw	Other or various collectors	80-100
		Mahananda Dairy	Pasteurization of milks	Other or various collectors	~120
Milma Dairy	Pasteurization of milks	Flat plate collector			
Krispl Fruit Juice	Pasteur crates washing space climate	Flat plate collector	~80		

Figura 50- Industrias que trabajan con sistemas solares de pasterización y esterilización [12]

4.1.6 Procesos de lavado y limpieza

Los procesos de lavado requieren un gran volumen de agua caliente, lo cual representa una gran oportunidad para el uso de energía solar térmica en prácticamente todos los sectores comerciales como botellas, barriles y contenedores en industrias alimenticias, metálicas, barnizado, galvanizado, industrias textiles, lavanderías, etc...

Industry	Country	Name	Industrial Operation	Solar Collector	Temperature(°C)	
Automobile	India	Mahindra Vehicle Manufacturers	Engine components	Other or various collectors	~120	
Breweries	Greece	Achaia Claus S.A.	Bottle Washing	Flat plate collector	45-60	
	Germany	Hofmuhl Brewery	Bottle washing	Evacuated tube collector	20-110	
		Brauerei Hald (brewery for beverages)	Cleaning	Flat plate collector	40-120	
	USA	Brown's Brewing Co.	Cleaning	Flat plate collector		
	France	Bourdoil	Bottle cleaning	Flat plate collector	15-70	
	Czech Republic	Cidler House Hostetin	Bottle washing	Flat plate collector		
	South Africa	CBC Brewing	Cleaning process	Flat plate collector		
	Austria	Metbrauerei Newwirth	Bottle washing,	Flat plate collector	50-95	
		Petter Vineyard	Bottle washing	Flat plate collector	20-90	
		Gangl Fruit Juices	Bottle cleaning,	Flat plate collector	95-105	
Food	Saudi Arabia	Nestle Waters	Bottle washing	Flat plate collector		
	Greece	Tyras S.A.	Washing of cisterns and lorries	Flat plate collector	20-80	
		Mevgal S.A.	Cleaning equipment	Other or various collectors	20-90	
		Plektemboriki Kritis S.A.	Cleaning Olives	Flat plate collector	40-90	
	USA	Adams Farm Slaughterhouse	Cleaning	Flat plate collector		
		Battenhill Valley Creamery	Cleaning	Flat plate collector		
		Prestage Foods	Cleaning	Flat plate collector	60-82	
	Austria	Eidvogel Hubert Bernegger	Fish Transportation trucks			
		Krispl Fruit Juice	Washing space	Flat plate collector	~80	
		Moguntia Spice Making	Cleaning	Flat plate collector		
		Israel	Golan Winery	Barrel Washing	Flat plate collector	~95
		India	Kwality Walls Incream	Cleaning	Flat plate collector	
	Portugal	Knoww Best Foods S.A.	Tools washing	Flat plate collector	40-45	
	Spain	Montesano- Jerez de los caballero	Raw product reception washing	Flat plate collector	40-45	
	France	Bonilait Dairy	Cleaning	Flat plate collector	~80	
	Germany	Edmund-gourmet foods	Rinsing & Cleaning of bottle plants	Flat plate collector	20-60	
	Jordan	Seniora Food Industries	Cleaning requirements	Evacuated tube collector		
Textile	Greece	Allegro S.A. Childrens' clothing manufacturer	Washing machines	Flat plate collector	33-60	
	India	Purple Creations	Washing	Other or various collectors		
		Sharman Shawls	Washing garments	Flat plate collector	~100	
Wearing Apparel	Vietnam	Saitex Jeans	Jeans washing process	Flat plate collector		
Mining	South Africa	Anglo Plant-brakfontein	Cleaning	Flat plate collector		
		Anglo Plant-middlepunt	Cleaning	Flat plate collector		
		BHP Bolliton wolwekrans colliery	Cleaning	Flat plate collector	~60	
		Northern Platinum's Booyesendal Mine	Cleaning	Flat plate collector	~60	
		Xstrata Elands Mine	Cleaning	Evacuated tube collector	~60	
Chemical	India	L'oreal Pune	Cleaning process	Flat plate collector	~55	
	Austria	MAPAG	Cleaning of samples	Flat plate collector	~60	

Figura 51 - Industrias que trabajan con sistemas solares para lavado y limpieza [12]

4.2 Sectores potenciales

4.2.1 Industria del automóvil

Las industrias automovilísticas operan diferentes tipos de procesos de producción que consumen una gran cantidad de energía como electricidad o calor. Las fuentes de energía utilizadas en los procesos de producción de automóviles son principalmente la electricidad, productos derivados del petróleo como el gas natural y otras fuentes.

Actualmente, Sudáfrica, India y España están empleando sistemas de calentamiento de procesos solares en sus sistemas de producción. Las operaciones son calentar el agua utilizada en el proceso de aplicación de pintura, lavar los componentes del motor en la unidad de fabricación de automóviles, la línea de pretratamiento de la carrocería y la preparación de la superficie de la lámina de la carrocería.

Aquí se utilizan diferentes tipos de captadores solares y la temperatura máxima que se puede alcanzar es de 120 ° C. Los procesos de producción típicos en la industria del automóvil que requieren energía térmica se explican a continuación en detalle, con las temperaturas requeridas en el proceso y el medio de transferencia de energía térmica como agua caliente, aire caliente o vapor a presión.

Country	Name	Industrial Operation	Solar Collector	Temperature (°C)
South Africa	BMW Manufacturing	Hot water used in the paint application process	Evacuated tube collector	~90
India	Mahindra Vehicle Manufacturers	Washing the engine components in automobile manufacturing unit	Other or various collectors	~120
Spain	Nissan Avila	Bodyworks pre-treatment line	Flat plate collector	
	FASA Valladolid	Bodyworks sheet surface preparation for the welding process & before the painting	Flat plate collector	~50

Figura 52 - SHIP en la industria automovilística [12]

4.2.2 Industria cervecera

En la industria cervecera, la energía solar térmica se puede utilizar para procesos tales como generación de vapor, proceso de malteado, detención de la germinación de granos, refrigeración por aire, conservación con aire caliente, suministro de energía de máquinas de lavado, procesos de secado y horno.

Las plantas de malteado y las fábricas de cerveza consumen calor para sus procesos térmicos a niveles de temperatura entre 25 ° C y 120 ° C. Resulta factible suministrar calor a este nivel de temperatura que no es más alto que la cantidad real requerida, pero en realidad a menudo es decidido por el consumidor que necesita la temperatura más alta.

Varios países europeos, China, Sudáfrica están contribuyendo, como se recoge en el apartado 1.1 Acuerdo de París. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático., a reducir las emisiones de dióxido de carbono al involucrar el calentamiento del proceso solar en las cervecerías.

Las operaciones de proceso más importantes son el lavado y limpieza, alcanzado

temperaturas de 120 ° C. También es importante el precalentamiento de botellas mediante con captador de aire o captador de placa plana que entrega una temperatura máxima de 60 °C. Otras operaciones que se pueden considerar son la pasteurización y esterilización.

Country	Name	Industrial Operation	Solar Collector	Temperature (°C)
Greece	Achaia Clauss S.A.	Bottle washing in winery	Flat plate collector	45–60
USA	Barrington Brewery & Restaurant	Brewing process	Flat plate collector	
	Brown's Brewing Co.	Cleaning	Flat plate collector	
	Gatorade	Preheating the water for soft drink production	Flat plate collector	~35
France	Milwaukee Brewing Co.	Hot water consumption	Flat plate collector	
	Bourdoil	Bottle cleaning with tap water	Flat plate collector	15–70
	GICB Wine Cellars	Cooling of wine cellar	Evacuated tube collector	70–95
Germany	Brauerei Hald (brewery for beverages)	Cleaning & thermal preheating of bottles	Flat plate collector	40–120
	Hofmuhl Brewery	Brewing water, bottle washing, defrosting & space heating	Evacuated tube collector	20–110
	Hutt Brewery	Heating the brewing water	Flat plate collector	40–95
South Africa	Newmarketer Lammsbrow	Preheating the ambient air for drying process	Air collector	~60
	CBC Brewing	Brewing water & cleaning process	Flat plate collector	
China	Chongqing Beverage	Heating for warehouse in winter, hot water supply for production in other seasons	Evacuated tube collector	
	Coca cola Shanghai	Other process heating	Evacuated tube collector	
Czech Republic	Cider House Hostetin	Preheating of cider before pasteurization & for bottle washing	Flat plate collector	
Austria	Gangl Fruit Juices	Bottle cleaning, pasteurization	Flat plate collector	95–105
	Goess Brewer Mashing Process		Flat plate collector	80–90
	Metbrauerei Newwirth	Bottle washing, pasteurization, sterilization	Flat plate collector	50–95
	Petter Vineyard	Wine cooling, bottle washing	Flat plate collector	20–90
Saudi Arabia	Nestle Waters	Hot water for bottle washing	Flat plate collector	
Tunisia	Winery Grombalia	Solar cooling by feeding an ammonia-water by absorption chiller	Fresnel collector	~110,~160

Figura 53- SHIP en la industria cervecera [12]

La conversión del calor de la energía obtenida de los recursos de energía renovable puede garantizar un proceso de producción de cerveza respetuoso con el medio ambiente para el futuro.

Para aumentar la eficiencia energética general, la integración de la energía térmica solar obtenida de las tecnologías de captadores solares térmicos es considerada una alternativa real para satisfacer las demandas del calor de los procesos típico a baja temperatura.

4.2.3 Industria alimentaria

Los procesos industriales más comunes donde se usa el calor de procesos industriales en el rango de temperaturas medias y bajas son la pasteurización, esterilización, hidrolización, secado, evaporación, destilación, limpieza y lavado, cada uno de los cuales se encuentra presente en el ámbito de la industria alimentaria.

La industria alimentaria se identifica como el sector industrial dominante en la actualidad para los sistemas de calentamiento de procesos solare, en cuyos procesos son los captadores solares de placa plana y los captadores paralelos los sistemas más usados

La mayoría de los países de Europa, América del Norte, América del Sur y Asia utilizan sistemas de energía solar térmica de procesos industriales en sus propias industrias.

4.2.4 Industria papelera

La única industria papelera que emplea energía solar térmica se encuentra en la India. La industria del papel de la India representa aproximadamente el 2,6% de la producción total de papel en el mundo. El consumo de combustible en la industria del papel en la India comprende electricidad, biomasa, carbón y combustible de petróleo.

Country	Name	Industrial Operation	Solar Collector	Temperature (°C)	
México	Aviary Food Pellet El Paisa	Heating water	Parallel trough collector	~95	
	Dairy Plant El Indio	Process heat	Parallel trough collector	20-95	
	Dairy Plant Ladonita	Pasteurization	Parallel trough collector	60-95	
	Durango Dairy Company	Boiler preheating	Parallel trough collector	20-95	
	Food Pellet Plant	Cooking	Parallel trough collector	40-95	
	Matalan Dairy	General process heating	Parallel trough collector	80-100	
	Nestle Dairy Plant	Pasteurization	Parallel trough collector	80-95	
	Nestle Dairy Plant-Lagos ds Moreno	Pasteurization	Parallel trough collector	80-95	
	USA	Adams Farm Slaughterhouse	Cleaning	Flat plate collector	
		Battenhill Valley Creamery	Cleaning	Flat plate collector	
Carriers & Sons		Drying	Air collector	~43	
Frito Lay		Steam for heating	Parallel trough collector	~243	
Keyaqa Orchards		Walnuts drying	Air collector	~43	
Kreher's Poultry Farms		Drying of chicken Eggs	Air collector		
Prestage Foods		Cleaning	Flat plate collector	60-82	
Stapleton Spence Fruit Packing Co.		Rehydrate dried foods	Unglazed Collector		
Sunsweet Dryers		Prune drying	Air collector	10-15	
Greece		Alpino S.A.	Hot water preheating in steam boiler	Flat plate collector	20-70
	Mandrekas S.A.	Preservation of yogurt making temperature	Flat plate collector	40-45	
	Mevgal S.A.	Hot water for cleaning equipment	Other or various collectors	20-90	
	Plektemboriki Kritis S.A.	Cleaning olives	Flat plate collector	40-90	
	Tyras S.A.	Washing of cisterns and lorries	Flat plate collector	20-80	
India	B.G. Chitale	Pasteurization of milks	Other or various collectors	~150	
	Indian Institute of Horticulture	Pasteurization of straw	Other or various collectors	80-100	
	Kaveri Agricare Pvt. Ltd.	Drying coir Peat	Air collector	~105	
	Kwality Walls Incream	Cleaning and making sugar solution	Flat plate collector		

Figura 54- SHIP en la industria alimentaria [12]

Para reducir los efectos de los gases de efecto invernadero, el consumo de combustibles fósiles debe reducirse, además de mantener el suministro de energía requerido para la industria del papel, que solo puede lograrse mejorando la eficiencia de utilización del combustible y sustituyendo el combustible fósil mediante el aprovechamiento de fuentes de energía renovables. El 75% de la energía total utilizada en la industria del papel es esencial para el proceso de calentamiento a temperaturas bajas e intermedias, por lo que se trata de un sector con un amplio potencial para la aplicación de la energía solar térmica.

Country	Name	Industrial Operation	Solar Collector	Temperature (°C)
India	B.S. Paper Mill	Different process applications	Other or various collectors	90-98

Figura 55 - SHIP en la industria papelera [12]

Los procesos como el blanqueo y el lavado con agua caliente, la fabricación de pulpa, el secado y el calentamiento del agua de alimentación de la caldera consumen la mayor parte del calor del proceso, utilizando un medio de transferencia de calor como agua,

vapor, aire o aceite, según los requisitos específicos del proceso.

Las industrias del papel aún carecen de la atención adecuada para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero mediante la utilización adecuada de los recursos de energía renovable.

4.2.5 Industria farmacéutica

La industria farmacéutica tiene una importante demanda de energía para producir productos farmacéuticos y para la formulación del producto final. La temperatura de la mayoría de los procesos oscila entre 160 y 180 ° C, dependiendo del proceso y del producto específico.

Las industrias farmacéuticas se identifican como el sector industrial más prometedor para los países europeos y norteamericanos donde la economía depende en un alto grado de este tipo de industrias.

Hoy en día, solo Egipto y Grecia están tratando con industrias farmacéuticas basadas en el proceso de calentamiento solar para la generación y el enfriamiento de vapor de proceso, donde otras operaciones operan a baja temperatura.

Country	Name	Industrial Operation	Solar Collector	Temperature (°C)
Egypt	El Nasr Pharmaceutical	Production of steam	Parallel trough collector	~173
Greece	Sarantis S.A.	Warehouse cooling	Flat plate collector	7–45

Figura 56 - SHIP en la industria farmacéutica [12]

4.2.6 Industria textil

La industria textil requiere un suministro continuo de agua como la mayoría de los otros sectores industriales. El requisito de temperatura para el agua se encuentra en un nivel más alto, alrededor de los 80 °C, lo que requiere una cantidad considerable de energía térmica.

Si se sigue empleando combustibles convencionales para alcanzar esta demanda de agua, los impactos ambientales también aumentarán en consecuencia. El calentamiento solar de agua utilizando calor de procesos solares es un candidato potencial para reemplazar las fuentes de combustibles fósiles convencionales en la industria textil para reducir sustancialmente el impacto ambiental.

Entre los siete países donde las industrias textiles están equipadas con sistemas de calentamiento por proceso solar, Grecia, China e India son los dominantes.

El calentamiento de agua es la operación de proceso común que trabaja con captadores

de placa plana para obtener una temperatura máxima de 100 ° C. Otras operaciones importantes de proceso incluyen precalentamiento solar, pintura y procesos de producción textil.

Country	Name	Industrial Operation	Solar Collector	Temperature (°C)
USA	Acme McCrary	Hot water for textile drying process	Flat plate collector	
Greece	Allegro S.A. Childrens' clothing manufacturer	Hot water for washing machines	Flat plate collector	33-60
	Kastrinagiannis S.A.	Hot water directly for dyeing machines	Flat plate collector	40-90
China	Daly Textile	Water heating for dyeing process	Flat plate collector	~55
	Jiangsu Printing & Dyeing	Solar preheating for printing & dyeing process	Evacuated tube collector	~50
Vietnam	Grammer Solar Vietnam	Textile production process	Air collector	
Spain	Harlequin	Painting	Flat plate collector	
Germany	Meiser Textile	Other process heating	Parallel trough collector	~140
India	Purple Creations	Iron the children's garments-steam processing & washing	Other or various collectors	
	Sharman Shawls	Hot water requirements for dyeing, bleaching & washing garments	Flat plate collector	~100

Figura 57- SHIP en la industria textil [12]

4.2.7 Procesado de minerales

Las tecnologías de calentamiento de procesos solares se pueden utilizar para calefacción de temperatura moderada y generación de vapor, que son procesos útiles en las industrias de procesamiento de minerales.

Estas aplicaciones de SHIP son particularmente convenientes en minas remotas donde el precio de los combustibles es mucho más significativo que en áreas urbanas.

El calentamiento de gases o líquidos a bajas temperaturas se puede lograr con sistemas solares térmicos. Los sistemas de calefacción solar con temperaturas de fluido de hasta 150 ° C se pueden lograr fácilmente con tecnologías no concentradoras, mientras que las temperaturas de hasta 400 ° C se pueden lograr utilizando tecnologías de concentración simples.

Las posibles aplicaciones de técnicas concentradoras en el procesamiento de minerales se pueden dividir en grupos de procesos térmicos, procesos químicos y procesos de reducción carbotérmica.

Los procesos térmicos solares incluyen el desarrollo de hornos solares para la descomposición térmica de la piedra caliza para producir cal hasta con temperaturas de hasta 1130 ° C. También se ha propuesto el calentamiento solar térmico del aire para aplicaciones industriales, por ejemplo, un material con alta conductividad térmica y capacidad de calor podría utilizarse para formar un lecho permeable al calor utilizando energía solar térmica. El aire caliente luego pasa a través de la cama donde se pueden alcanzar temperaturas de hasta 850 ° C. El aire precalentado se puede usar para procesos de fundición metalúrgica como el calentamiento regenerativo.

Sudáfrica, Chile, Austria y Alemania son países industrializados dominantes y dinámicos basados en la minería, donde el sistema de calentamiento de proceso solar ya está incorporado y opera en minas, principalmente para operaciones de limpieza, minería y calentamiento de agua. Otras operaciones específicas de la mina incluyen procesos electro-ganadores, baño de níquel, productos químicos desengrasantes con

captador de placa plana y captador de tubo.

Country	Name	Industrial Operation	Solar Collector	Temperature (°C)
South Africa	Anglo Plant-brakfontein	Cleaning	Flat plate collector	
	Anglo Plant-middlepunt	Cleaning	Flat plate collector	
	BHP Bolliton wolwekrans colliery	Mining & Cleaning	Flat plate collector	~60
	Northern Platinum's Booyssendal Mine	Mining & cleaning	Flat plate collector	~60
Chile	Xstrata Elands Mine	Mining & cleaning	Evacuated tube collector	~60
	Codelco Gabriela Mistral	Electro winning Process	Flat plate collector	~50
	Mínera Constanza	Electro winning Process	Flat plate collector	
Cyprus	Hellenic Copper Mine	Industrial mining, leaching, extraction	Flat plate collector	
Austria	Gillich Galavanic	Degreasing & removal of lacquer from metal parts in baths	Evacuated tube collector	~75
	Komer Kvk	Preheating, drying	Flat plate collector	50-80
India	Kangaroo India Limited	Nickel bath	Flat plate collector	
Germany	Hustert Galvanic	Heating thermal baths for electroplating	Evacuated tube collector	~80
	Schiffer GmbH & Co KG	Hot water for galvanic baths	Evacuated tube collector	40-70
	Steinbach und Vallmann	Hot water for galvanic baths	Evacuated tube collector	60-80

Figura 58- SHIP en la industria minera [12]

El sector minero aún presenta numerosas áreas en las que existen enormes posibilidades de sistemas de calentamiento por procesos solares de baja temperatura, temperatura media y alta temperatura que se integren para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

4.2.8 Industria química

Existen varios procesos de producción química que requieren calor a un nivel de temperatura relativamente bajo donde la energía solar se utiliza de manera complementaria en el precalentamiento primario con otras fuentes de energía.

Existen áreas dentro del proceso de calentamiento solar industrial en la industria química que trabajan exclusivamente a una temperatura de proceso baja.

Los procesos más comunes donde se usa la energía solar térmica son el calentamiento de agua, el calentamiento con vapor, el proceso de limpieza y pintura con captador de placa plana, donde actualmente la temperatura máxima alcanzada es de 130 ° C.

Country	Name	Industrial Operation	Solar Collector	Temperature (°C)
India	L'oreal Punne	Hot water for cleaning process	Flat plate collector	~55
Austria	MAPAG	Cleaning of samples for analytical lab	Flat plate collector	~60
Egypt	Pachin Paints Co.	Heating of chemicals	Flat plate collector	~50
Germany	Penzkofer Autolackiererei	Painting process	Air collector	
China	Solar steam boiler for procter & gamble (Tianjin)	Steam generation	Parallel trough collector	~130

Figura 59 - SHIP en la industria química [12]

4.2.9 Agricultura

La energía solar térmica se utiliza ampliamente en las industrias agrícolas y pesqueras de diferentes países, principalmente para el secado de productos agrícolas, el calentamiento de agua mediante diferentes tipos de captadores solares que varían según la capacidad de la planta y los requisitos de rango de temperatura.

La mayoría de las industrias tienen aplicaciones de un rango de temperatura de baja presión con captador de aire, captador de placa plana y captador de canal paralelo.

Country	Name	Industrial Operation	Solar Collector	Temperature (°C)
India	AMR dal Mill	Drying of pulse	Air collector	65-75
Spain	Acuinova Andalucía S.A.	Heating water	Flat plate collector	23-26
Romania	Aroma Plant Romania	Drying of medicinal plants	Air collector	
China	Hongxin Aquaculture	Water heating	Evacuated tube collector	
USA	Sonoma Country Herb Exchange	Drying of herbs	Air collector	
México	Buenavista Greenhouse	Space heating	Parallel trough collector	
Germany	Krimmer	Drying of wild flower seeds	Flat plate collector	
	Woltow	Water heating	Parallel trough collector	

Figura 60 - SHIP en la agricultura [12]

4.2.10 Industrial del cuero

Varios países asiáticos como Tailandia, China, India y otros países están operando con procesos de producción de cuero basados en calentamiento solar.

Las industrias manufactureras de productos de cuero involucran principalmente el proceso de curtido y el calentamiento de agua para la utilización del calor del proceso industrial solar.

El captador de tubos al vacío es el más empleado para este tipo de operaciones.

Country	Name	Industrial Operation	Solar Collector	Temperature (°C)
Thailand	Ayuttaya Tannery	Retanning process	Evacuated tube collector	~80
	Sadesa Leather	Retanning process	Evacuated tube collector	
Austria	Gerberei Kolblinger	Hot water for the wet process of leather retanning	Flat plate collector	
China	Heshan Bestway Leather	Retanning process	Evacuated tube collector	~70
India	Leo Leather	Chemical mixing, drying	Flat plate collector	
Kenya	Nairobi Tannery	Retanning process	Evacuated tube collector	
Vietnam	Saigan Tanteq	Retanning process	Evacuated tube collector	~70
Greece	Tripau-katsouris leather treatment factory	Leather treatment	Flat plate collector	48-84

Figura 61 - SHIP en la industria del cuero [12]

4.2.11 Industria metálica

En las industrias de fabricación de materiales metálicos, en su mayoría en países europeos, el calor del proceso solar se utiliza para calentar el agua, secar y limpiar, que son los procesos por calor solar más ampliamente utilizados.

La temperatura máxima alcanzada es de 180 ° C operada con varios tipos de captadores solares.

Country	Name	Industrial Operation	Solar Collector	Temperature (°C)
Germany	Alanod Solar	Production of saturated steam	Parallel trough collector	~143
	Lackiercenter Shulte	Heating of painting & drying chamber	Evacuated tube collector	
Austria	Julius Blum	Heating of pre-treatment washbasins of the coating device	Evacuated tube collector	~85**
Spain	Pincasa	Heat oven	Other of various collectors	~180
Portugal	Silampos S.A.	Process wash & drying finished product	Parallel trough collector	50-160
India	SKF Technologies Mysore	Heat the water for circulation	Parallel trough collector	~95
France	Viessmann Faulquemont	Heating up an alkaline cleaning bath	Evacuated tube collector	~60

Figura 62- SHIP en la industria metálica [12]

5 PLANTA SOLAR TÉRMICA MIRAAH

5.1 Introducción

Como se ha expuesto a lo largo de este trabajo, la energía solar térmica puede servir para muchas aplicaciones más allá de la generación de energía eléctrica. Muchos procesos industriales requieren energía térmica a temperaturas y condiciones favorables para energía solar, teniendo en cuenta que el coste del vapor solar puede competir con los combustibles existentes sin subsidios.

Una aplicación de particular interés es la recuperación de aceite mejorada solar térmica (EOR), que reemplaza el combustible con la luz solar como fuente de energía de vapor para las operaciones en campos petrolíferos. En el EOR térmico, el vapor se inyecta en un depósito de aceite para calentar la formación. Esto mejora las tasas de producción y las cantidades, principalmente al elevar la temperatura de la formación de aceite y reducir la viscosidad del aceite.

Calentar kilómetros cúbicos de roca saturada de líquido a 100 ° C requiere ingentes cantidades de energía primaria. Gracias a la tecnología desarrollada, los nuevos generadores solares de vapor pueden entregar hasta el 80% del vapor que se necesita en los campos petrolíferos. Por tanto, existe una gran oportunidad de mercado si la energía solar puede suministrar vapor a precios competitivos respecto gas natural en regiones con las suficientes horas de irradiación solar. Esta condición no supone en principio un grave inconveniente ya que las grandes reservas de combustibles fósiles se encuentran en climas eminentemente desérticos.

Las operaciones actuales de EOR en todo el mundo consumen más de 1.700 millones de MMBTU de gas natural cada año, con un pronóstico de crecimiento sustancial

El uso de la energía solar para generar vapor para EOR presenta desafíos únicos para concentrar la energía solar. Entre los principales retos a superar destacan:

- El área para captadores solares es limitada pero suficientemente grandes normalmente. Los costos iniciales y operativos deben competir con el gas natural.
- Los altos niveles de aerosol en ambientes de campos de petróleo polvorientos causan tasas de suciedad que pueden resultar en pérdidas ópticas semanales promedio de hasta el 30% o más.
- El agua a menudo es escasa, y lo que está disponible contiene altos niveles de sólidos disueltos y otros contaminantes. El agua de alimentación de la caldera suele ser *agua producida* separada del aceite de producción o se bombea desde acuíferos salobres o salinos. Como se inyectará directamente en el reservorio, el precio del tratamiento de agua debe minimizarse para lograr un balance económico aceptable.

Teniendo en cuenta las anteriores ventajas e inconvenientes, la empresa californiana Glasspoint, puntera en este tipo de tecnología con algunas plantas ya en funcionamiento en EEUU, ha desarrollado el proyecto Solar Miraah (que significa espejo en árabe) en el campo petrolero de Amal.

Para ello, se ha desarrollado la tecnología Enclosed Trough que se puede observar en la Figura 63.

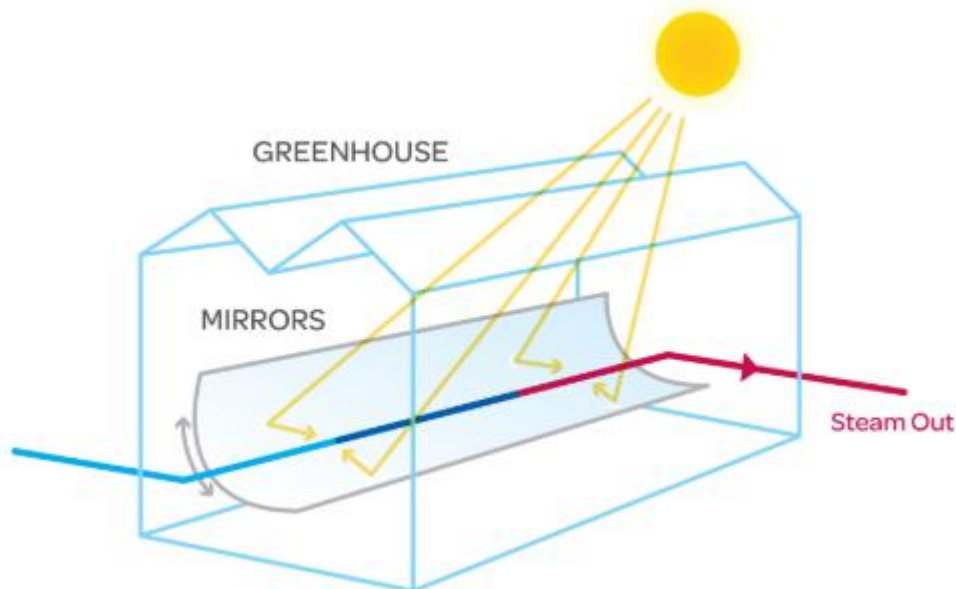


Figura 63 - Tecnología Enclosed Trough [13]

Este yacimiento se ubica dentro de la concesión de Petroluem Development Oman LLC (PDO), en el Sultanato de Omán siendo el proyecto basado en el calor solar es el más grande del Medio Oriente y el de mayor producción energética derivada con el fin de producir 6000 toneladas diarias de vapor.

5.2 Métodos térmicos de recuperación mejorada

5.2.1 Procesos de recuperación

La inminente caída de la producción de petróleo convencional aunada al escaso desarrollo de energías alternativas ha originado que la explotación de petróleo no convencional, tal como lo es el aceite pesado y extrapesado, sea fundamental para satisfacer las necesidades energéticas de los próximos años.

Del total de reservas de petróleo del mundo, el aceite pesado junto con el extrapesado y el bitumen conforman aproximadamente un 70 por ciento, como se observa en la Figura 64.

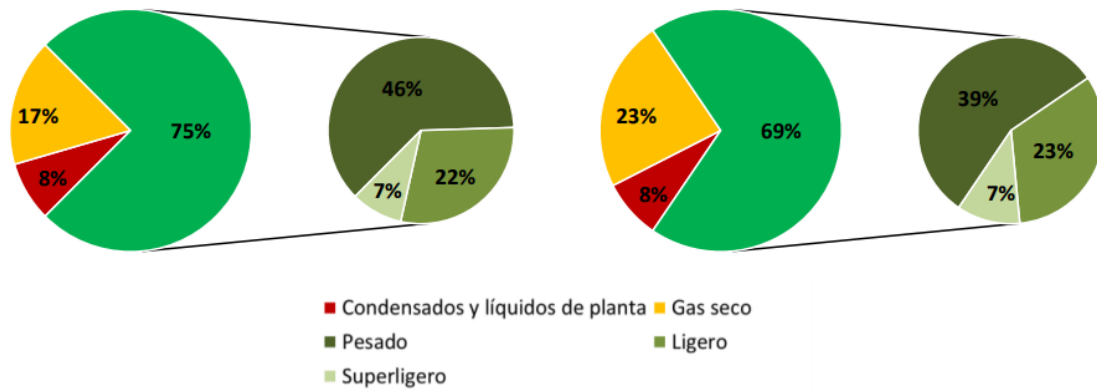


Figura 64 - Reservas mundiales de hidrocarburos [14]

Durante el siglo XX se han desarrollado diversas técnicas para la recuperación de estos hidrocarburos ligeros, clasificadas como primaria, secundaria y terciaria según su orden de aparición. Cada una de estos nuevos métodos de recuperación han incluido al anterior, mejorándolo y añadiendo nuevas facetas que permiten una obtención de crudo más eficiente.

La recuperación mejorada se refiere a la recuperación de petróleo obtenida como resultado de la inyección de materiales que normalmente no están presentes en el yacimiento, o materiales que comúnmente están en el yacimiento pero que son inyectados a condiciones específicas con el fin de alterar el comportamiento fisicoquímico de los fluidos del yacimiento y de la interacción de dichos fluidos con la roca. Esta definición, como se puede observar en la Figura 65, abarca todos los modos de procesos de recuperación (desplazamientos, remojo e intervenciones a pozo), y considera muchas sustancias para la recuperación de aceite.



Figura 65 - Métodos térmicos de recuperación mejorada [14]

Dentro de esta recuperación mejorada, la más desarrollada es la recuperación térmica.

5.2.2 Procesos de recuperación térmica

Se define como recuperación térmica todos aquellos procesos por los cuales intencionadamente se introduce calor dentro de las acumulaciones subterráneas de compuestos orgánicos con el propósito de producir combustibles por medio de los pozos.

En la actualidad existen métodos térmicos de recuperación mejorada que incrementan el factor de recuperación de crudos de esta naturaleza.

Al emplear procesos térmicos se logra:

- Reducir la viscosidad del aceite.
- Activar el empuje por gas en solución en algunas sustancias.
- Producir una expansión térmica del aceite y por lo tanto incrementar el efecto de empuje por expansión de fluidos.
- Alterar la mojabilidad, la tensión interfacial y por consecuencia modificar la presión capilar y la permeabilidad relativa.
- Crear destilación y en algunos casos, craqueo térmico del aceite.

Sin embargo, está limitado a yacimientos someros debido a las pérdidas de temperatura que existen entre la superficie y el fondo del pozo. Otra limitante es el costo de generación de vapor ya que depende fuertemente del precio del combustible.

Además, se necesita de una gran infraestructura para generar el vapor, lo que implica disponibilidad de espacio, originando que la implementación de este método en yacimientos costa afuera sea poco viable. Por otro lado, se produce una importante emisión de gases de efecto invernadero debido al proceso de generación de vapor, haciendo que la inyección de vapor no sea amigable con el medio ambiente.



Figura 66 - Porcentaje de fuel con posibilidad de recuperarse mediante EOR [14]

Como se puede observar en la Figura 66, para yacimientos de crudo ligero, los métodos EOR se aplican generalmente después de las operaciones de recuperación secundaria y buscan recuperar aproximadamente el 45 por ciento del aceite original in-situ. Los yacimientos de aceite pesado y arenas bituminosas tienen una mala respuesta a los métodos de recuperación primaria y secundaria, por lo que la mayor parte de la producción proveniente de dichos yacimientos se debe a la implementación de métodos EOR.

El más exitoso de los métodos térmicos es la inyección de vapor.

5.2.3 Procesos de recuperación térmica mediante inyección de vapor

Principalmente, existen dos tipos de inyección de vapor.

5.2.3.1 Inyección cíclica de vapor

La inyección cíclica de vapor, CSS (por sus siglas en inglés Cyclic Steam Stimulation), también conocida como estimulación de vapor o método “huff and puff”, es el método térmico de recuperación mejorada más utilizado. Se implementa a aceites altamente viscosos. Este método térmico de recuperación mejorada proporciona factores de recuperación que varían de 10 a 40% del aceite original in situ.

El proceso consta de tres etapas en las cuales el pozo funciona como inyector y productor de manera alternada:

1. La primera etapa consiste en inyectar vapor de alta calidad (80% de calidad aproximadamente) a la formación por un periodo de tiempo de 2 a 3 semanas.
2. En la siguiente etapa, el pozo es cerrado algunos días para que el vapor se distribuya a través de la formación en la vecindad del pozo y caliente al aceite.
3. Finalmente, el pozo se abre a producción y se deja produciendo durante un periodo que va de 3 meses a aproximadamente un año, dependiendo de la declinación de la producción.

Cuando la producción de aceite caliente termina, se inicia un nuevo ciclo.

Se puede observar en la Figura 67 las fases en el proceso de inyección cíclica de vapor.

En este proceso la principal fuerza motriz para el desplazamiento del aceite es proporcionado por la presión del yacimiento, la fuerza gravitacional, la expansión de la roca y el fluido, y posiblemente, la compactación de la formación.

El ciclo se repite hasta que la producción llegue a su límite económico. La inyección cíclica de vapor será menos eficiente conforme el número de ciclos de inyección de vapor aumente. La relación de barriles de aceite producido por barriles de agua en forma de vapor inyectados es el indicador de la eficiencia del proceso.

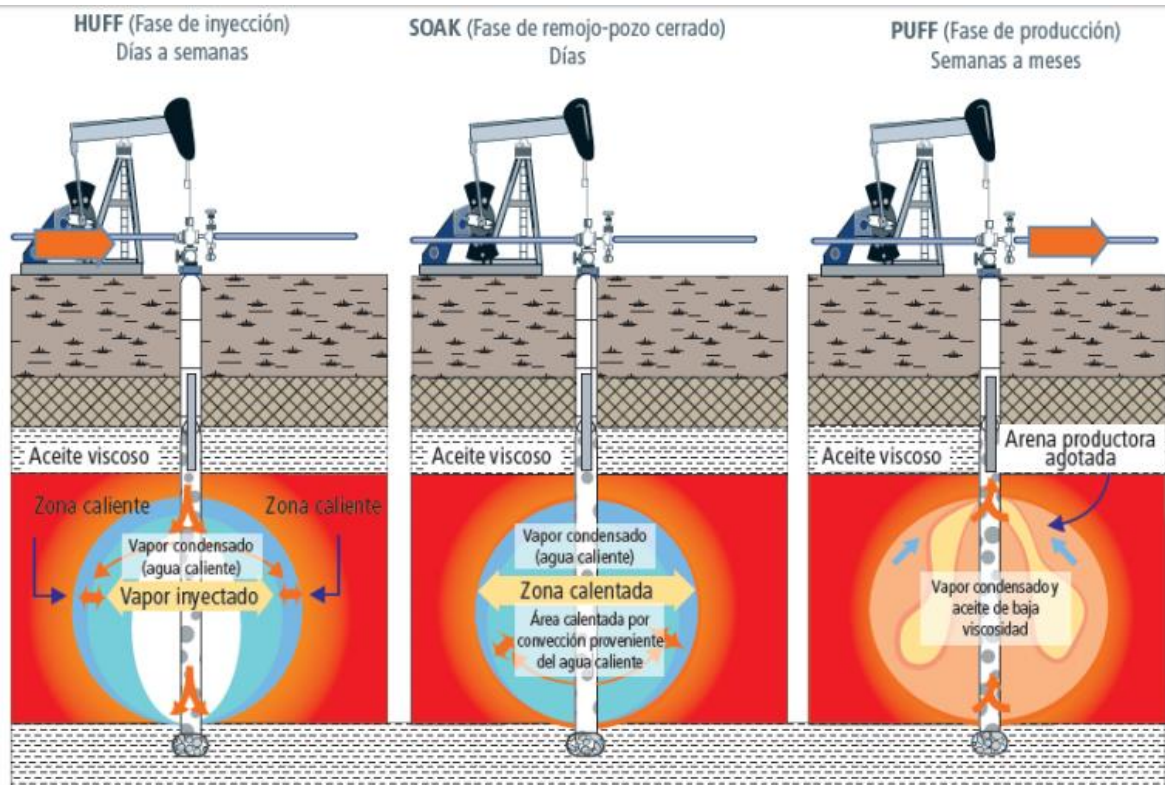


Figura 67- Fases en la inyección cíclica de vapor [14]

Los mejores resultados indican que en los primeros ciclos se tendrá una relación de 30 barriles de aceite producido por 1 barril de agua inyectado.

5.2.3.2 Inyección continua de vapor

La inyección continua de vapor es conocida también como desplazamiento de vapor o empuje por vapor, contribuye con poco más de dos tercios de la producción por procesos térmicos.

Generalmente se aplica a yacimientos poco profundos de aceite pesado con altas viscosidades, altas saturaciones y buena permeabilidad.

Para implementar este proceso de recuperación adicional de hidrocarburos es necesario contar con al menos dos pozos: un inyector y otro productor. Normalmente los pozos se distribuyen en arreglos geométricos ya establecidos.

El proceso consiste básicamente en inyectar continuamente vapor dentro del perímetro del yacimiento. El vapor calienta al hidrocarburo por lo que reduce su viscosidad, además forma un frente que va desplazando lentamente al aceite hacia las zonas productoras.

Este desplazamiento se logra por destilación de vapor del aceite, extracción con solvente y empuje de gas. Las saturaciones en zonas barridas por el vapor registran reducciones de hasta 10 por ciento, lo anterior indica que los factores de recuperación se encuentran en un rango de 50 a 60 por ciento del volumen original.

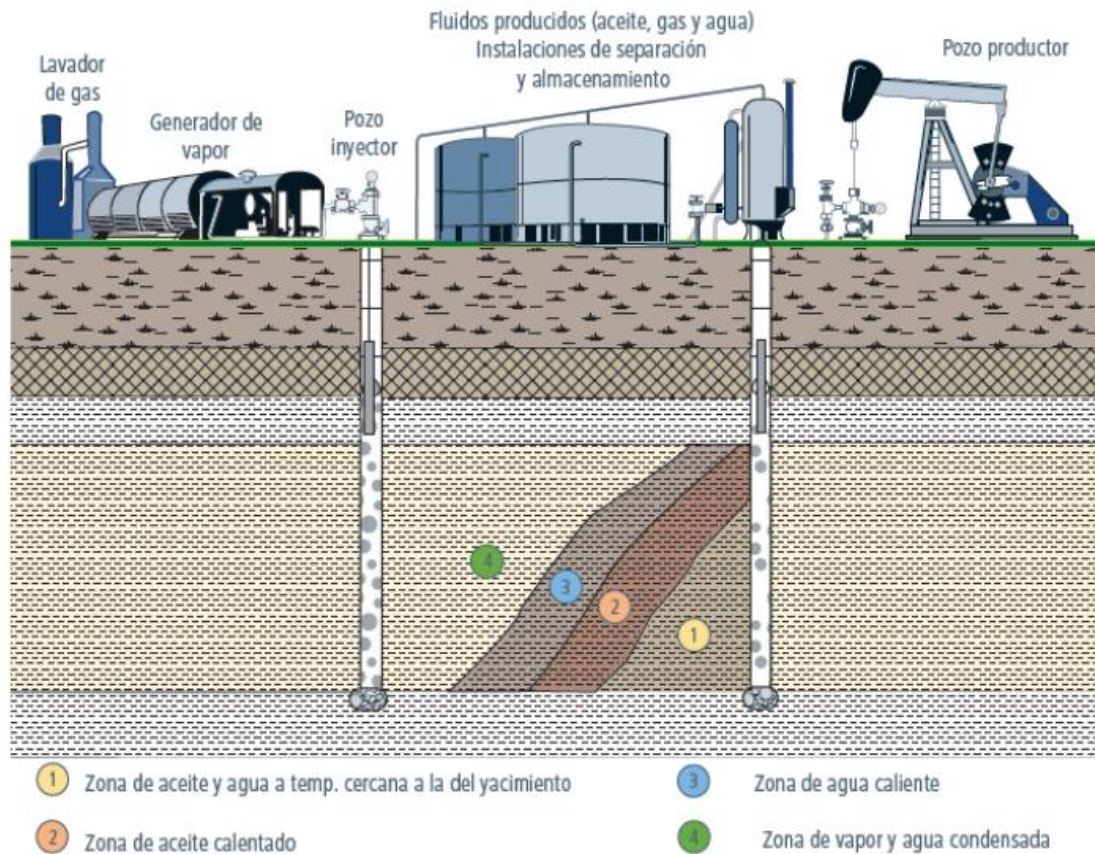


Figura 68 - Proceso de inyección continua de vapor [14]

Para obtener mejores resultados, se puede implementar conjuntamente inyección cíclica de vapor en los pozos productores.

5.3 Tecnología solar aplicada

Enclosed Trough representa un enfoque completamente nuevo para el diseño y construcción de captadores solares de concentración. Al ser una tecnología muy prometedora pero debido al altísimo coste e inversión, se decide en crear una planta piloto que opera desde 2012.

El sistema de canalización cerrada está protegido por una estructura de piel de vidrio, esencialmente un invernadero agrícola simplificado. La planta en cuestión abarca una superficie de 17.280 m² con una producción máxima de más de 7 MW térmicos.

Como se observa en Figura 69, los canales parabólicos ligeros están suspendidos dentro del invernadero. La industria agrícola de invernaderos ha desarrollado ya más de 30,000 hectáreas de invernadero en las últimas décadas, instalándose en todo el mundo en una amplia gama de climas. Están disponibles a bajo costo, y al proporcionar apoyo estructural y aislar a los captadores solares del viento y la humedad, reducen sustancialmente el coste total del sistema de energía solar.

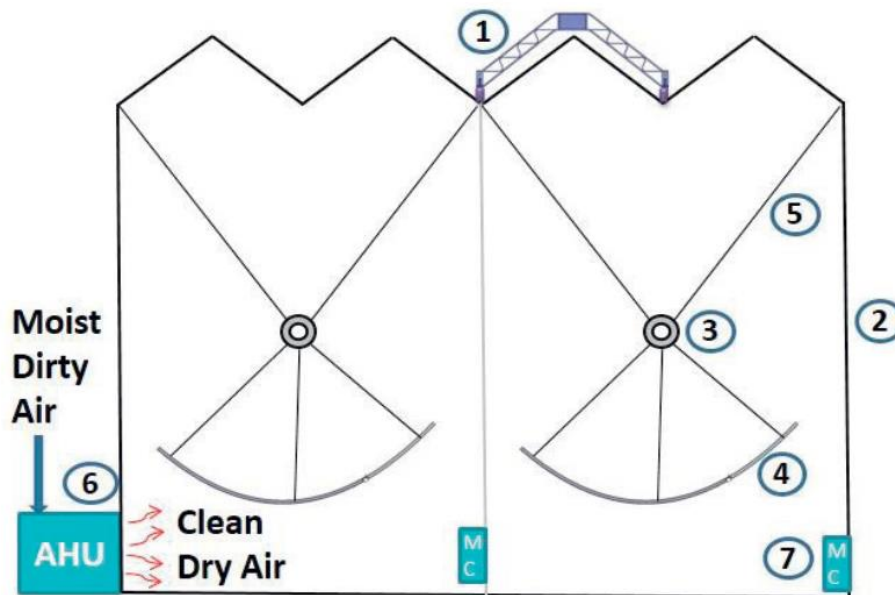


Figura 69 - Diagrama de Enclosed Trough [15]

El uso total de material en el campo solar por unidad de vapor producido se reduce significativamente en comparación con las arquitecturas CSP más antiguas.

El uso total de material por m² de abertura del concentrador se ha comparado con la planta Andasol, con una reducción de 134 a 40 kg, impulsada por una reducción del 84% en el hormigón y una reducción del 56% en el metal. El uso de vidrio fue comparable a 12 kg / m², pero GlassPoint usa vidrio claro y plano de menor costo para el acristalamiento, a diferencia de los espejos de vidrio curvo de Andasol.

Los espejos de GlassPoint son de una construcción ligera de nido de abeja de aluminio. Como resultado del menor uso de material y la eficiencia de conversión competitiva, la arquitectura de canal cerrado produce un menor coste por MMBTU de la producción de vapor en comparación con las tecnologías térmicas solares anteriores.

La arena, el polvo y la humedad del viento en el ambiente son importantes en muchos entornos referidos a campos petroleros, primordialmente desérticos. La condensación durante la noche en las superficies cargadas de polvo produce barro y se requiere de un lavado húmedo. Así mismo, las tasas de acumulación de polvo son altas.

Técnicos de GlassPoint han observado tasas de suciedad que producen una caída del 12% por semana en la recolección de energía solar entre lavados en la planta de GlassPoint en el valle de San Joaquín en California, mientras que Masdar ha medido hasta un 30% de disminución por semana en los EAU.

La estructura de invernadero de GlassPoint está equipada con un sistema automatizado de lavado de techos capaz de limpiar toda la superficie del techo cada noche mientras los captadores están fuera de servicio. La mayoría del agua de lavado se devuelve en el sistema de canalones y se puede recuperar para su reutilización.

La infiltración de polvo se minimiza mediante una unidad de tratamiento de aire que

proporciona aire filtrado y seco a una ligera sobrepresión dentro de la estructura en todas las condiciones, incluidas las tormentas de polvo o arena. Estas medidas han demostrado ser efectivas para proporcionar una producción de energía constante en las condiciones de los campos petroleros.

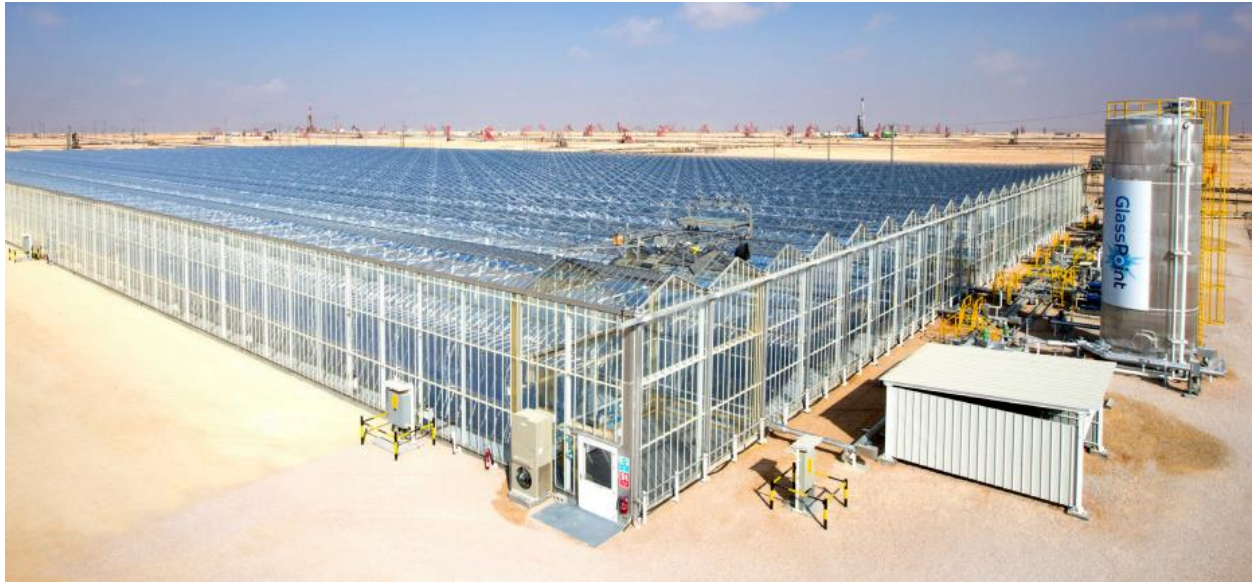


Figura 70 - Planta piloto Miraah de 7 MW [13]

Las pequeñas pérdidas debidas a la transmisión del vidrio del techo y el sombreado estructural están más que compensadas por el control de suciedad y la protección contra el viento que ofrece esta arquitectura.

Debido a la ausencia de fuerzas del viento que actúan sobre los captadores, un reflector liviano puede brindar una alta precisión óptica de manera constante. El reflector ligero permite un sistema de puntería de cable. El ángulo de seguimiento se mide con inclinómetros con una precisión de 0,01 grados. Los actuadores dedicados colocados cada pocos metros a lo largo de cada canal reducen la torsión del captador.

El control de puntería en bucle cerrado produce menos de 0.5 mrad de error de puntería en cientos de puntos dentro del invernadero. La precisión de la señalización se mantiene sin tener en cuenta la velocidad del viento, ya que los captadores siempre operan en un entorno sin viento.

El bajo peso del captador permite una instalación simple y totalmente suspendida de todo el sistema de canal, incorporando un receptor de posición fija y un reflector que gira sobre él.

El receptor fijo permite un sistema de vapor directo de alta presión muy simple y seguro, libre de rótulas o mangueras y sus costos, riesgos de seguridad y requisitos de mantenimiento. El sistema de vapor directo elimina otros costos y riesgos de tecnologías más antiguas, como los intercambiadores de calor y el acondicionamiento, almacenamiento y riesgo de incendio de fluidos de transferencia de calor.

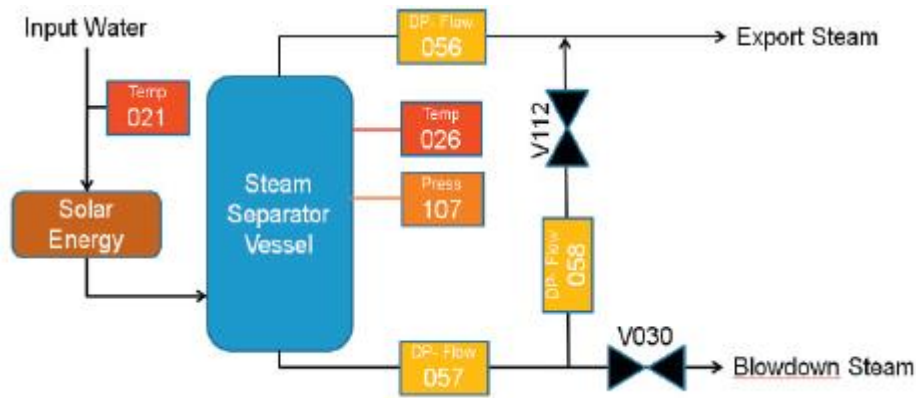


Figura 71 - Esquema simplificado de la planta piloto [15]

El bajo peso del captador permite una instalación simple y totalmente suspendida de todo el sistema de canal, incorporando un receptor de posición fija y un reflector que gira sobre él.

El receptor fijo permite un sistema de vapor directo de alta presión muy simple y seguro, libre de rótulas o mangueras y sus costos, riesgos de seguridad y requisitos de mantenimiento. El sistema de vapor directo elimina otros costos y riesgos de tecnologías más antiguas, como los intercambiadores de calor y el acondicionamiento, almacenamiento y riesgo de incendio de fluidos de transferencia de calor.

Se emplea una tecnología de receptor patentada, que utiliza un receptor de 60 mm con un sistema de absorción selectiva de aire estable y pantallas de convección de vidrio. La estructura del invernadero lleva los receptores y los canales.

Los receptores están suspendidos de la estructura por varillas de acero, como se contempla en la Figura 69.

Los canales se apoyan desde los tubos receptores utilizando barras similares. Estos enlaces no rígidos se adaptan a la expansión y contracción térmica diaria de los receptores y canales a la vez que mantienen la alineación precisa del sistema óptico.

El proceso de la caldera del generador de vapor de un solo paso aloja agua de alimentación con sólidos disueltos totales de hasta 30,000 ppm y produce un 80% de vapor de calidad a 100 bar, que coinciden con las especificaciones típicas de OTSG de combustible, empleadas anteriormente.

Se presta especial atención a la fracción de líquido de salida para evitar la precipitación de sólidos disueltos como depósitos de incrustaciones dentro de los tubos del evaporador. Incluso con el manejo de las concentraciones de sólidos, algunas incrustaciones ocurren inevitablemente debido a excursiones en la calidad del agua o la química. El diseño del sistema incorpora características para permitir la limpieza del receptor.

5.4 Desarrollo del proyecto y situación actual.

La construcción de la planta piloto se desarrolló en 11 meses, hasta la producción del primer vapor como se puede observar en la Figura 72.

		2012											
PHASE		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Glasshouse	Footings & Foundations	█											
	Erect Structure				█								
	Glaze Roof				█								
	Glaze Walls						█						
Solar Field	Receiver Hanger						█						
	Soiling Control								█			█	
	Receiver								█	█		█	
	Controls									█	█	█	
	Mirror and Mirror Frame									█	█	█	█

Figura 72 - Timeline de la construcción [15]

Debido a ciertos acontecimientos internacionales, los envíos de materiales se retrasaron en bastantes ocasiones. Pero gracias a que se siguió un plan de construcción conservador, se logró terminar a tiempo sin retrasos significativos.

Durante el proceso, surgieron importantes inconvenientes como la necesidad de trabajar dentro del invernadero en plena época estival, alcanzando temperaturas de más de 50 °C. Debido a esto, se cambiaron la mayoría de los turnos de los trabajadores a franjas horarias nocturnas, lo que derivó en una mejora del confort y la productividad.

Una vez terminada la construcción, se produjo el primer vapor en diciembre de 2012 y se realizan diversos estudios para comprobar la viabilidad de la planta de 1 GW, en función de distintas consideraciones.

Como se puede observar en la Figura 73, la planta comenzó a producir vapor a un ritmo de 50 toneladas por día, mejorando las cantidades proyectadas.

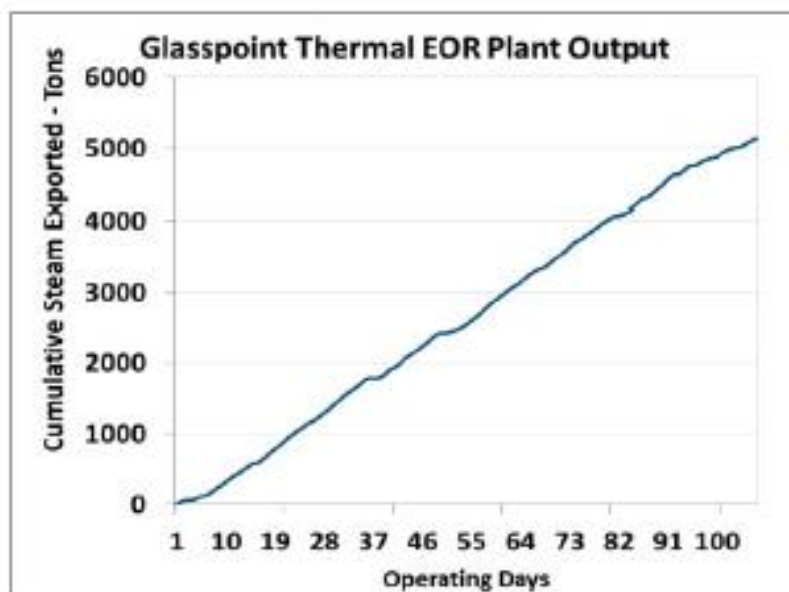


Figura 73 - Toneladas de vapor introducidas al sistema por la planta piloto [15]

Después de 100 días de operación, se alcanzó un 97% de la producción teórica, mejorando el tiempo previsto para alcanzarlo.

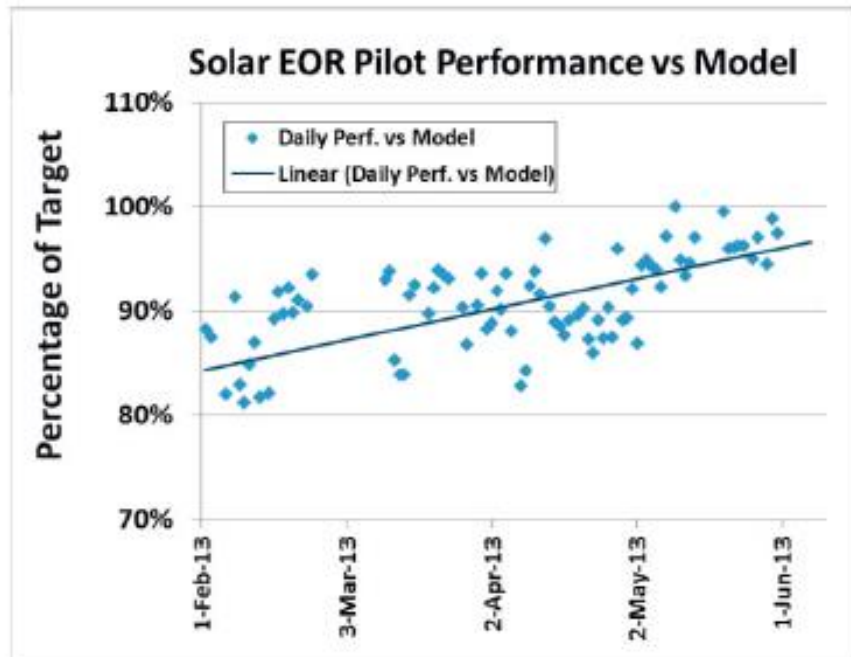


Figura 74 - Funcionamiento de la planta frente al modelo previsto [15]

Otro tema delicado se centraba en el sistema de lavado del techo del invernadero. Es logró un aumento de la transmisión de en torno al 10% en ciclos de lavado de un mes. Estudios independientes sometieron a 2300 ciclos de lavado este tipo de cristal, sin encontrar una pérdida de transmisión detectable. Estos 2300 ciclos suponen una estimación de un periodo de 12 años. Sin embargo, se requieren nuevos estudios para conocer el proceso de lavado en un periodo de tiempo superior.

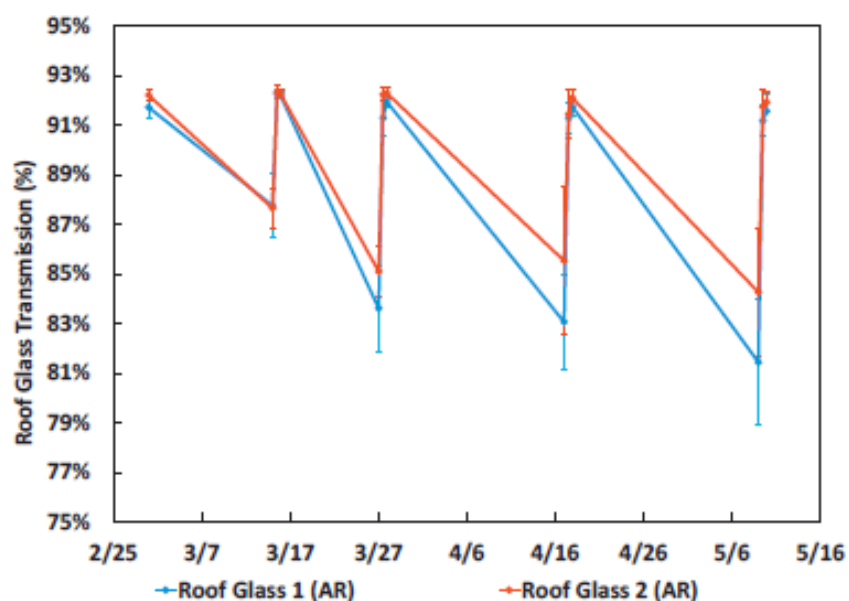


Figura 75 - Transmisión del techo sucio y tras lavado [15]

En la Figura 76, se observa la producción diaria de vapor, que en días claros sobrepasa las 50 toneladas estimadas. Los días en los que la producción es en torno a 0, son días de tormenta de arena, que a su vez generan los días siguientes una menor producción debido a la suciedad acumulada. El resto de días de baja producción se debieron a la existencia de nubes o calima, lo que reduce la transmisión.

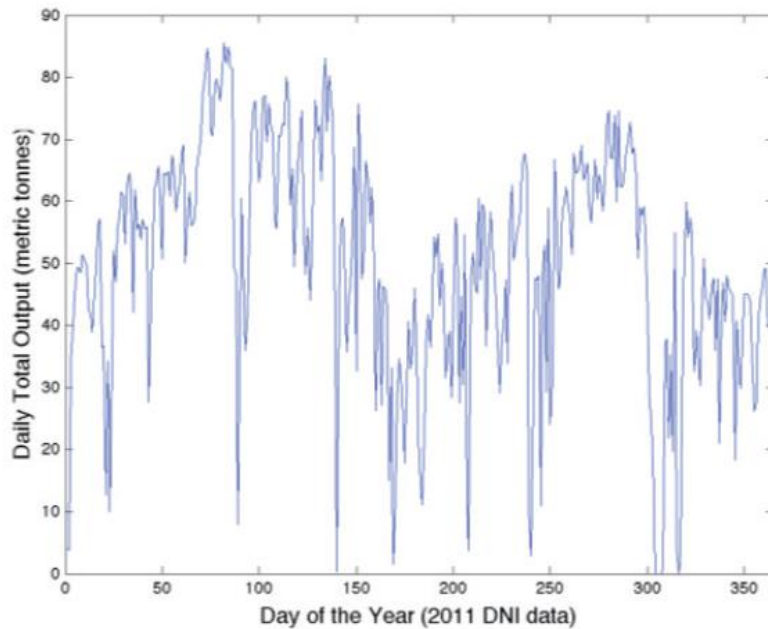


Figura 76 - Producción diaria de vapor [15]

El proyecto piloto opera hoy en día produciendo un promedio de 50 toneladas de vapor libre de emisiones por día. El vapor solar se alimenta directamente a la red de distribución de vapor existente de PDO, lo que ayuda a facilitar la producción de petróleo y reduce el uso de gas.

El éxito del piloto ha permitido seguir con la segunda fase de este proyecto, la construcción de la planta solar de concentración para EOR más grande del mundo.



Figura 77 - Proyecto Miraah [13]

La dimensión de este proyecto ridiculiza cualquier otra planta EOR instalada hoy en día. Cuenta con una extensión de 3 km², de los que 1.9 corresponden al campo solar. La construcción comenzó en 2015, siguiendo la estructura del proyecto piloto, produciéndose el primer vapor en el año 2017.

La cantidad de energía renovable producida a lo largo de los 30 años de vida útil del sistema es más de 9,000 veces la energía utilizada en todos los materiales, fabricación, transporte y construcción del sistema. En comparación con un sistema solar fotovoltaico con la misma producción de energía, los generadores solares de vapor requieren aproximadamente la mitad de energía para construirse y son aproximadamente dos veces más eficientes.

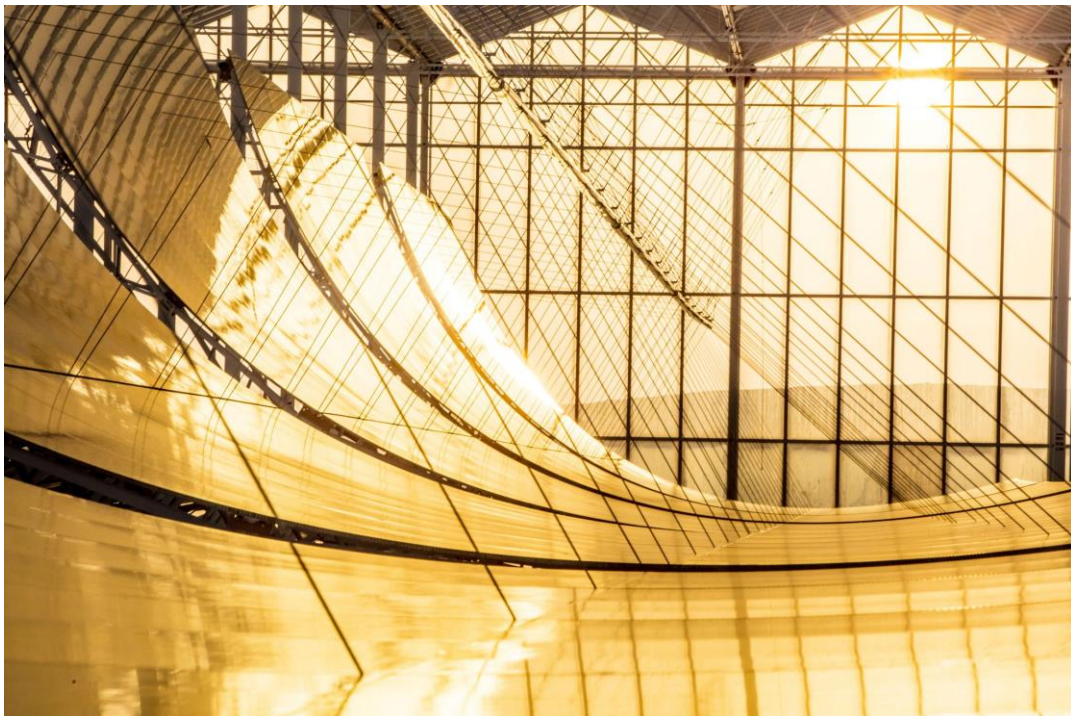


Figura 78- Sistema de captadores en la planta Miraah [13]

Este megaproyecto está dividido en 36 sectores, de los que actualmente hay ya 6 en funcionamiento. Miraah se está construyendo utilizando un proceso de implementación secuencial que divide el proceso de construcción en pasos estandarizados y fácilmente repetibles. Los equipos especializados se mueven de bloque en bloque para completar una tarea específica, como el acristalamiento de invernaderos o la instalación de nuestros espejos parabólicos ligeros, optimizando el proceso en el camino para acelerar la implementación, controlar los costos y garantizar una calidad constante.

6 RESUMEN Y CONCLUSIONES

A lo largo de este TFM se explican los fundamentos de los procesos térmicos en la industria, manteniendo una visión global y centrándose en los diferentes sistemas que componen esta producción de energía térmica (generación, distribución, almacenamiento y transferencia de calor).

Posteriormente, se tratan los distintos sistemas para la producción de calor mediante energía solar en procesos industriales. Las siglas mundialmente usadas para denominar estos procesos son SHIP (*Solar Heat for Industrial Process*) y describen los sistemas que proporcionan energía solar térmica en las industrias. Se determinan los principales tipos de captadores, el rango de temperatura con el que trabajan, los fluidos empleados. Mención aparte requieren los sistemas de integración, que han alcanzado un alto nivel de madurez y se describen en el apartado 3.3.

De acuerdo con las principales informaciones de procesos solares térmicos industriales, se han identificado los principales procesos y sectores industriales con más potencial para estas aplicaciones. De esta forma, quedarán explicadas las principales aplicaciones de la energía solar térmica.

Se detalla en profundidad un ejemplo de esta integración, la planta solar Miraah en Omán, la de mayor potencia en el mundo, que produce vapor de alta calidad para inyectar en el subsuelo en el proceso de recuperación de hidrocarburos EOR.

No cabe duda de que el mundo se encuentra en una situación ciertamente importante en lo que respecta a las energías renovables. Las emisiones de CO₂ contribuyen a destruir la capa de ozono y generan el denominado efecto invernadero. El cambio climático y el aumento de la temperatura mundial es un hecho que se prueba día tras día. Desastres naturales, temporales, lluvias torrenciales o sequías azotan el mundo con virulencia.

Cierto es que estos desastres naturales se han producido asiduamente desde que tenemos constancia. Pero tampoco es menos cierto que en los últimos años ha aumentado la frecuencia con la que aparecen, generando importantes pérdidas tanto económicas como humanas.

El Acuerdo de París, firmado por la mayoría de los países del mundo, es visto como una vía de escape hacia un futuro más respetuoso con la naturaleza. Este acuerdo prevé una serie de medidas para reducir las emisiones contaminantes drásticamente hasta 2040, con restricciones en combustibles fósiles, los más empleados para la generación tanto de electricidad como de calor en todos los sectores de la sociedad.

Desde mi punto de vista, la clave de esta transición no se encuentra en las prohibiciones que puedan ser impuestas desde los gobiernos a industrias, sector servicios o ciudadanos de a pie sino en el fomento del cambio mediante la creación de una conciencia social que impulse la transformación.

Nadie apuesta por lo que no cree y si se logra convencer a través de energías renovables, será un gran punto a favor. No solo es nuestro planeta, sino que es el planeta que dejaremos a nuestros hijos y nietos. Por lo tanto, hemos de plantearnos no dejar la Tierra como la encontramos, si no en mucho mejor estado.

La energía solar térmica es una de estas renovables que deben inducir el cambio. Es innegable el inmenso potencial que posee. Actualmente, se encuentra inmersa en un crecimiento importante, aunque menor de lo que se podría esperar, sobre todo, en el sector industrial, que es en el que se centra este trabajo.

España es uno de los países pioneros en estas nuevas tecnologías, aunque no deja de ser llamativo que países con menos horas de incidencia solar, como Dinamarca, tengan un mayor peso en el sector. Gracias al impulso de estos países, se ha logrado que la energía solar térmica continúe evolucionando y se encuentre mucho más implantada de lo que estaba hace unos años.

En lo que respecta a la media y baja temperatura, se han desarrollado diferentes manuales que permiten una integración metódica y ordenada de la energía solar térmica en los diferentes tipos de procesos industriales, pudiéndose integrar desde un punto de vista a nivel de procesos o de a nivel de suministro.

Tras lo estudiado en el capítulo 4, se ha podido observar el enorme abanico de opciones, ya sean en sectores o procesos industriales, en los que es posible implantar la EST.

Existen algunas consideraciones importantes como la región geográfica, la necesidad de una demanda de energía continua o no, o la temperatura de los procesos industriales. No obstante, queda demostrado que prácticamente se puede integrar en cualquier planta industrial que requiera algún tipo de procesos calorífico. Es más, la EST contribuye a la producción de frío solar, rama que se encuentra ahora mismo en una fase de desarrollo y pruebas.

China, India o EEUU han incrementado sustancialmente el número de plantas instaladas, llegando hasta los 283 proyectos de envergadura. Méjico también destaca entre estos nuevos países que implementan estas tecnologías.

A pesar del de que a la cabeza del tipo de captadores se encuentran los de placa plana, con alrededor del 55% de la potencia instalada, es importante destacar el papel que adquieren los nuevos concentradores que permiten alcanzar una temperatura del fluido de trabajo mucho mayor.

Estos nuevos niveles caloríficos de trabajo son interesantes para poder integrar la EST en sectores industriales que requieren procesos de mayor temperatura, como la minería o la industria química.

Un buen ejemplo de ello es la planta Miraah, en fase de construcción en Omán para la extracción de petróleo mediante la técnica de recuperación EOR, estudiada en el capítulo 5.

Esta nueva planta, de la que hoy en día hay construidos 6 de los 36 módulos que contiene, tiene como objetivo inyectar en el subsuelo del país omaní una media de 6000

toneladas de vapor de alta calidad, similar al que produce un generador de vapor de alta eficiencia. Este vapor será libre de emisiones contaminantes.

Este logro no se consigue de la noche a la mañana. Requiere de una importante investigación y desarrollo por parte de la empresa californiana GlassPoint, pionera en el empleo de la tecnología Enclosed Trough. Por otro lado, destacar la apuesta de la empresa PDO, concesionaria de los principales pozos petrolíferos del país del Golfo, decidida a realizar este megaproyecto.

Ya desde los primeros resultados arrojados por la planta pilotó se observó que los resultados son inmejorables. Se prevé un ahorro de 5600 MMBtus en gas, lo que servirá para reducir la importancia del carbón en la producción eléctrica y calorífica de la región, con unas tasas de emisiones mucho mayores.

Se trata de una planta de 3 km², de los 1.9 pertenecen al propio campo solar. La tecnología se denomina Enclosed Trough, mediante la cual se protegen los concentradores solares parabólicos de los principales inconvenientes ambientales de este tipo de zonas, como la formación de barro y suciedad en los captadores debido a la condensación que se produce durante la noche. El objetivo de Miraah es la producción de 6000 toneladas de vapor al día.

La estimación de ahorro en cuanto a la cantidad de emisiones se sitúa en torno a las 300.000 toneladas de CO₂, lo que equivaldría a retirar 63000 vehículos de la circulación. Es por todos estos datos por los que creo que se requiere pensar en grande a la hora de emplear la energía solar térmica. Se encuentra en un punto maduro, en el que es exportable a todo tipo de industrias, independientemente de sus necesidades y de su tamaño. Una energía limpia y de futuro.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Foro Mundial de la Energía,» [En línea]. Available: <http://es.weforum.org>.
- [2] International Energy Agency, «World Energy Outlook,» 2016.
- [3] A. Crespo, C. Barreneche, M. Ibarra y W. Platzer, «Latent thermal energy storage for solar process heat applications at medium-high temperatures - A review,» *Solar Energy*, 10 7 2018.
- [4] «Cenitsolar,» [En línea]. Available: <http://www.cenitsolar.com>.
- [5] «Ecured,» [En línea]. Available: <http://www.ecured.cu>.
- [6] ESTIF, «Solar Industrial Process Heat».
- [7] Ecoheatcool, «Ecoheatcool Work Package 1: El mercado europeo de calor,» 2003.
- [8] «Almunia Solar,» [En línea]. Available: <http://www.almuniasolar.com>.
- [9] N. Menichetti, «Technical Study Report on Solar Heat For Industrial Processes),» COTTRET.
- [10] IEA, «Task 49 - Solar Heat Integration in Industrial Process,» 2016.
- [11] O. Behar, «Solar thermal power plants - A review of configurations and performance comparison,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 92, pp. 608-627, 1 9 2018.
- [12] S. H. Farjana, N. Huda, M. P. Mahmud y R. Saidur, «Solar process heat in industrial systems - A global review,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 2270-2286, 1 2 2018.
- [13] «GlassPoint,» [En línea]. Available: <https://www.glasspoint.com/miraah/>.
- [14] D. S. M. Leonel, «Recuperación mejorada mediante el uso de energía geotérmica.,» 2016.
- [15] B. Bierman, J. O'Donnell, R. Burke, M. McCormick y W. Lindsay, «Construction of an Enclosed Trough EOR System in South Oman,» *Energy Procedia*, vol. 49,

pp. 1756-1765, 1 1 2014.

- [16] A. K. Sharma, C. Sharma, S. C. Mullick y T. C. Kandpal, «Solar industrial process heating: A review,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 78, pp. 124-137, 1 10 2017.
- [17] B. Schmitt, «Classification of Industrial Heat Consumers for Integration of Solar Heat,» *Energy Procedia*, vol. 91, pp. 650-660, 1 6 2016.
- [18] B. Bierman, C. Treynor, J. O'Donnell, M. Lawrence, M. Chandra, A. Farver, P. von Behrens y W. Lindsay, «Performance of an Enclosed Trough EOR System in South Oman,» *Energy Procedia*, vol. 49, pp. 1269-1278, 1 1 2014.
- [19] A. Baniassadi, M. Momen, M. Amidpour y O. Pourali, «Modeling and design of solar heat integration in process industries with heat storage,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 170, pp. 522-534, 1 1 2018.
- [20] M. Alguacil, C. Prieto, A. Rodriguez y J. Lohr, «Direct Steam Generation in Parabolic Trough Collectors,» *Energy Procedia*, vol. 49, pp. 21-29, 1 1 2014.
- [21] IRENA,IEA-ETSAP, «Technology Brief E21,» 2015.
- [22] IEA, «Task 33 - Solar Heat for Industrial Processes,» 2008.