



INFORME CSET-2016-PU-001-SP

Estudio de Tecnologías Solar Térmica para Producción de Calor en la Industria

Autores:

Felipe Cortés
Clare Murray
Iván Muñoz
Werner Platzer

Proyecto

CORFO 13CEI2-21803

Fecha

Noviembre 2016

Contenido

1	Resumen Ejecutivo	3
2	Introducción	4
3	Tecnología Solar Térmica para Aplicaciones Industriales	5
3.1	Introducción	5
3.2	Colectores Solares para Aplicaciones Industriales	8
3.2.1	Colector Solar Plano	8
3.2.2	.Colector de Tubo Evacuado	11
3.2.3	Colector Cilindro Parabólico	14
3.2.4	Concentrador lineal Fresnel (Compact Linear Fresnel Reflector CFLR)	17
3.3	Aplicaciones	19
4	Mercado Solar Actual	23
5	Potencial de Mercado	26
5.1.1	Potencial de Mercado en Chile	27
5.1.2	Potencial de integración a sectores industriales	28
6	Costos asociados al calor solar	30
6.1	Sector Residencial	30
6.2	Sector Industrial	32
7	Proveedores de Tecnologías solares térmicas	35
7.1	Sistemas estacionarios	35
7.2	Sistemas con seguimiento	37
8	Conclusiones	41
9	Referencias	42

1 Resumen Ejecutivo

La tecnología solar térmica tiene un multitud de productos que se incorpora en un sistema de calefacción o refrigeración termica. Los componentes principales son los colectores solares, y aquí tenemos campos de colectores fijos (colectores de placas planas y tubos de vacío) y colectores concentradores de seguimiento del sol. Aunque el primer grupo constituye la mayor parte del mercado mundial (la capacidad instalada en todo el mundo se aproxima a 500 GW), los últimos son especialmente interesantes para Chile. En Chile el sol directo tiene un enorme potencial considerablemente mayor que en muchos otros países.

La ventaja de los sistemas solares térmicos, la gran variedad, también puede ser una desventaja, porque el diseño de un sistema óptimo para una cierta aplicación y con un alto estándar cualitativo requiere un considerable conocimiento de ingeniería y sistemas "off the shelf" sólo existen para hogares unifamiliares.

En Chile la calefacción solar de agua caliente, el calor de proceso para varias industrias y el enfriamiento solar con chillers de absorción son las aplicaciones más importantes.

Debido al buen recurso solar con sistemas solares térmicos se puede ahorrar combustibles, gas o electricidad a lo largo de la vida útil de un sistema bien diseñado con costos garantizados y conocidos. Debido a que la irradiación aquí, incluso en el área metropolitana es mucho más alta que en Europa Central (Alemania), un sistema genera aproximadamente el doble de calor que en Alemania, o dicho de otra manera, los costos del calor solar en Chile son menos del 50% en Alemania.

Pero no sólo los costes son más bajos, las temperaturas que se pueden alcanzar aquí son mucho más altas usando los colectores de concentración. Los productos pueden producir vapor de hasta 400 °C con alta eficiencia, completamente suficiente para una red de vapor industrial.

2 Introducción

Las tecnologías que utilizan recursos renovables no convencionales pueden contribuir a los países a cumplir sus demandas energéticas, de esta manera asegurar su consumo y reducir la dependencia de combustibles fósiles. A nivel mundial, el 66% del consumo de calor es generado por combustibles fósiles y el 45% es utilizado en las industrias para satisfacer sus consumos térmicos. La incorporación de tecnologías solares térmicas a procesos industriales presenta un gran potencial. No obstante, la capacidad instalada de calor solar para procesos es de solo 88 MW_{th}, representando el 0.3% del total de la capacidad instalada solar térmica [1].

La temperatura requerida en los procesos industriales varía entre el rango bajo ($T < 100\text{ °C}$), medio ($100\text{ °C} < T < 250\text{ °C}$) y alto ($T > 250\text{ °C}$). Generalmente, los rangos de bajo y media temperatura comprenden industrias del rubro: minero, alimentos, tabaco, papelera, madera, farmacéutica entre otros. Mientras que el rubro de alta temperatura comprende la industria: química, minerales no metálicos, productos metálicos básicos, entre otros. Sin embargo, también en la industria con demanda de alta temperatura a menudo hay procesos con requisitos de baja temperatura, p. para lavar o secar.

En la actualidad, la mayoría de las instalaciones en todo el mundo en la industria utiliza tecnologías solares térmicas ampliamente disponibles en el mercado para procesos de baja temperatura ($T < 100\text{ °C}$), utilizando colectores planos o de tubos de vacío.

Sin embargo, existe una amplia gama de productos de colectores comerciales que utilizan la concentración de energía solar, que son adecuados para procesos de media a alta temperatura ($100\text{ °C} < T < 400\text{ °C}$). Sin embargo, este rango de temperatura no ha sido explotado en profundidad y sólo las plantas a pequeña escala se han considerado para fines de investigación. Una de las razones de esto es que en muchos países pioneros en el mercado el recurso de radiación solar directa es escaso y no tan fácilmente disponible como en gran parte de Chile.

El presente reporte comprende una comparación entre tecnologías solares para la generación de calor disponibles en el mercado nacional e internacional, sus principios de operación, rangos de temperatura y aplicaciones.

Además, el estudio comprende una revisión el potencial solar presente en los sectores industriales presentes en Chile, la participación solar a nivel mundial y finalmente los costos asociados a la inversión de tecnologías solares térmicas.

3 Tecnología Solar Térmica para Aplicaciones Industriales

3.1 Introducción

A diferencia de los sistemas de producción de calor basados en combustibles fósiles, capaces de suministrar energía instantáneamente, los sistemas solares térmicos se basan en el concepto de aprovechar la energía a lo largo del día, adaptándose a una distribución diaria de la carga. Bajo condiciones de irradiación deficientes, el sistema podría no ser capaz de satisfacer las necesidades de energía de los procesos consumidores. El almacenamiento térmico es una posibilidad para mejorar esta situación. Sin embargo, generalmente se requiere un sistema de respaldo que asegure que se cumple el perfil de carga. Una "fracción solar" se define como la relación entre el calor producido por el sistema solar y las necesidades totales de calor del perfil de carga.

Los límites del sistema solar térmico se establecen por el área de apertura del campo solar, donde la radiación solar se convierte en calor y la conexión al proceso de consumo de calor. Independientemente del rendimiento de diferentes tecnologías de colectores solares, en general, temperaturas de campo solar más altas resultan a rendimientos más bajos por que aumentan las pérdidas térmicas. Por lo tanto, una integración del calor solar en procesos en los que la temperatura puede ser tan baja como sea posible (tal vez sólo precalentamiento) tiene ventajas con respecto al rendimiento del colector de un colector específico.

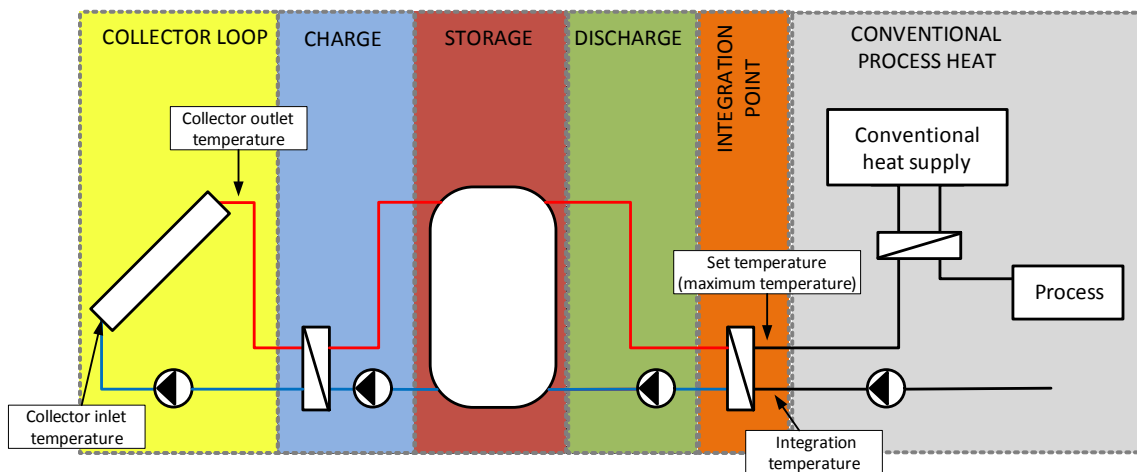


Figura 3.1: Diseño básico del escarapate de un sistema solar térmico típico utilizado para el suministro de calor de proceso.

Siguiendo este concepto básico, la gama de temperaturas de funcionamiento y las especificidades del diseño y funcionamiento de los usuarios finales

determinará no sólo la tecnología de colector solar adecuada para una aplicación específica, sino también el concepto de integración que se va a adoptar. Un esquema básico y ejemplar de un sistema solar térmico para el suministro de calor de proceso se describe en la Figura 3 1.

La composición básica de un sistema solar térmico, cuando se considera un grupo de componentes que satisface los requisitos de calor de un diagrama de carga prescrito, consta de cinco unidades principales:

- **campo solar** - En el circuito colector, el campo solar (o campo colector) es un grupo de colectores solares interconectados que realizan la conversión térmica de la radiación solar, cuya superficie bruta suele estar dimensionada en función del rendimiento solar anual específico [KWh / m²];
- **circuito primario** - circuito hidráulico donde el calor es transportado por un fluido de transferencia de calor para el campo de colector (solar) a un proceso directamente o a un intercambiador de calor donde los procesos están conectados directamente o un almacenamiento está conectado
- **sistema de almacenamiento térmico (TES)** - un volumen (opcional) de un determinado acumulador de calor que recibe el calor del campo solar y lo entrega a los procesos de consumo de calor de acuerdo con un perfil de carga dado;
- **sistema de respaldo** - un equipo instantáneo de potencia que permite el cumplimiento del perfil de carga en cualquier momento dado, independientemente de las condiciones instantáneas de la fracción solar. Por lo tanto, la inclusión de un sistema de respaldo permite el cumplimiento del perfil de carga en cualquier momento dado, independientemente de las condiciones de irradiación solar que se produzcan en un momento;
- **sistema de control** - un sistema de control de temperatura que controla la circulación del HTF en el campo solar asegura que la circulación ocurre solo cuando el calor está disponible en el campo solar a temperaturas útiles, es decir, que la temperatura de salida del campo solar es más alta que la temperatura del TES (o del consumidor), evitando así la disipación de energía en el campo solar. El sistema de control también podría ser usado para implementar estrategias anticongelación o anti-estancamiento / sobrecalentamiento.

La transferencia de calor entre estos componentes puede lograrse mediante la circulación directa del fluido de transferencia de calor y / o mediante un intercambiador de calor adecuado. Como resultado de un coste adicional y de una reducción de la eficiencia global del sistema, el uso de intercambiadores de calor es obligatorio cuando se conectan dos circuitos hidráulicos diferentes, ya

sea utilizando diferentes soportes HTF o no (como en el caso de integración de energía solar en un circuito preexistente) . A menudo, un intercambiador de calor se coloca entre el campo solar y el sistema de almacenamiento térmico, pero diferentes diseños son posibles, dependiendo de los HTF utilizados en el campo solar y el consumidor, respectivamente.

La disposición final de un sistema de calor de proceso solar depende de diferentes aspectos: Temperatura de funcionamiento que debe ser alcanzada, selección adecuada de HTF, integración solar en circuitos preexistentes, necesidad de almacenamiento a ciertas temperaturas, condiciones límite de seguridad, presiones operativas, etc. - y su optimización debe favorecer una combinación de costes de inversión y eficiencia que dé como resultado los costes energéticos más bajos, dentro de los límites de las restricciones de los procesos de consumo.

El rendimiento energético de los colectores depende muy fuerte de las pérdidas térmicas. Por lo tanto, la eficiencia de un colector solar está disminuyendo con la temperatura de funcionamiento. Esta función de eficiencia es muy diferente para diferentes tipos de colectores (Figura 3.2). Por lo tanto queremos presentar primero las diversas opciones que existen. Por supuesto, esto influye en la elección de colectores para suministrar ciertas temperaturas de proceso.

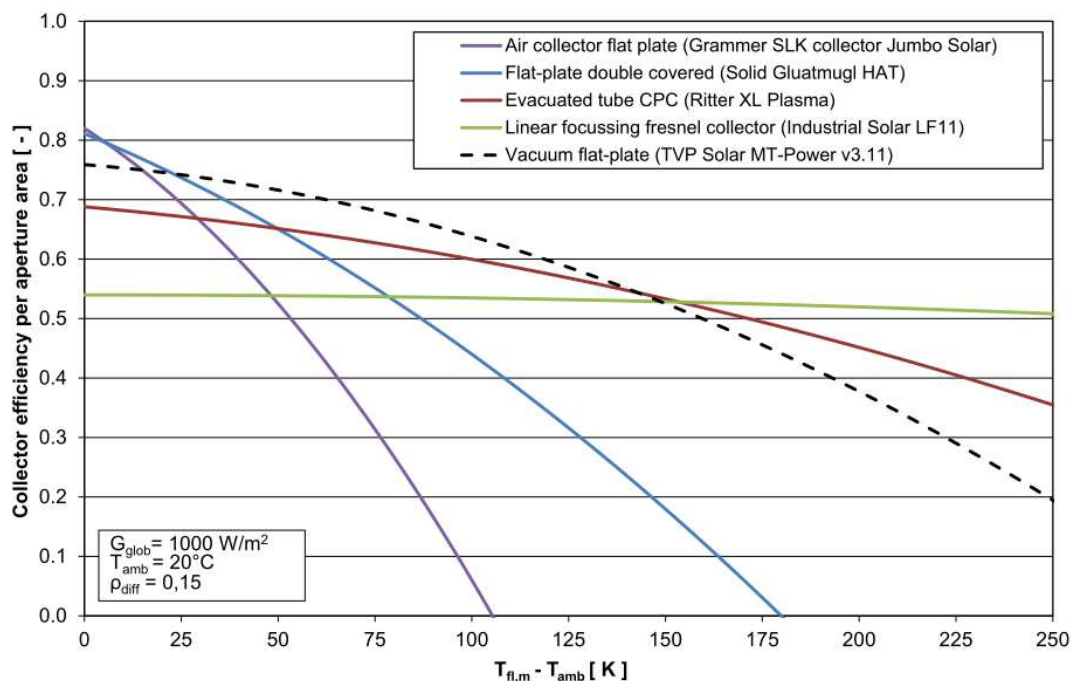


Figura 3.2: Diferentes dependencias de temperatura para varios colectores típicos (IEA Task 49)

3.2 Colectores Solares para Aplicaciones Industriales

3.2.1 Colector Solar Plano

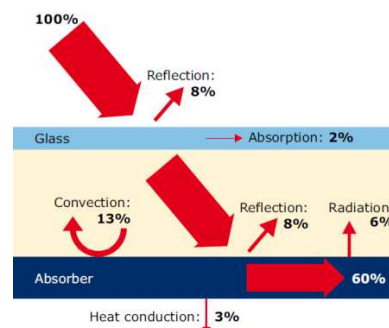
La tecnología de colector solar plano es una de las tecnologías utilizadas a nivel residencial e industrial de baja temperatura, alcanzando temperaturas de hasta 100 °C.

Principio de operación

Los colectores solares planos utilizan radiación directa y difusa, no requieren de dispositivo de seguimiento del solar, requieren baja mantención, son económicos y mecánicamente simples.

La operación de este sistema comienza con la radiación que incide en la cubierta transparente y alcanza el absorbedor, conforme muestra la Figura 3.3. La radiación absorbida es convertida en energía térmica. Se requiere de una buena conductividad térmica para transferir la energía térmica absorbida hacia las tuberías donde finalmente se transfiere el calor hacia el fluido de trabajo. Generalmente, se utiliza agua o mezcla de agua/glycol como fluido de trabajo, incluyendo aditivos anticorrosión.

Figura 3.3:
Operación básica de un colector solar plano (Fuente: IEA [2]).



Para mejorar la eficiencia de estos sistemas es necesario reducir sus pérdidas asociadas a la operación. Estas pérdidas se clasifican en ópticas y térmicas. Las pérdidas ópticas son variables constantes, en cambio, las térmicas aumentan rápidamente con el aumento en la temperatura.

Componentes del colector solar plano

Un colector plano sigue el mismo principio que el efecto invernadero, captando radiación directa y difusa en su interior. Las componentes del colector están diseñadas para aumentar el rendimiento reduciendo las pérdidas térmicas. Las principales componentes del colector se muestran en la Figura 3.4.

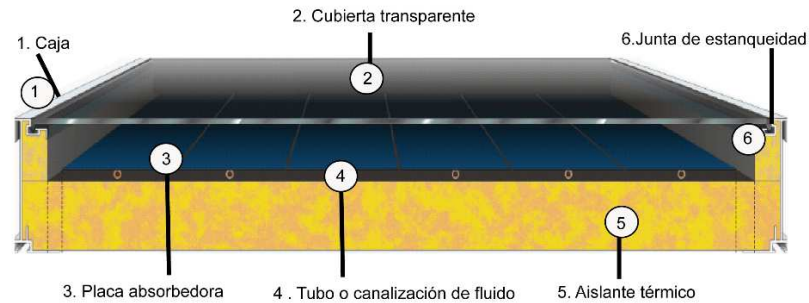


Figura 3.4:
 Componentes de un
 colector solar plano
 (Fuente: Termasolar
 [26]).

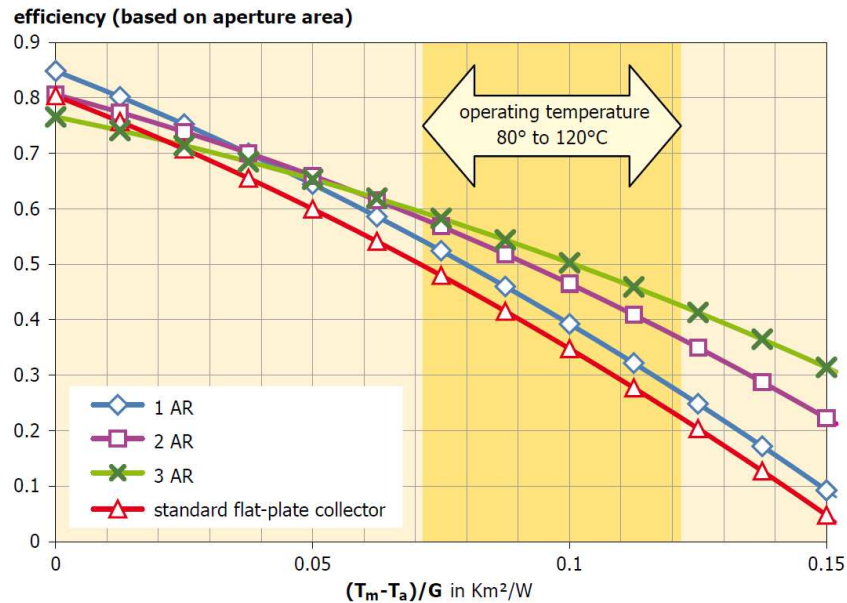
1. **Caja:** Se utiliza para asegurar la estabilidad y proteger la placa, tubos absorbedores y aislación contra efectos ambientales. Consiste en aluminio, acero, madera o algún material sintético.
2. **Cubierta Transparente:** La cubierta asegura una alta transmitancia y durabilidad, reduciendo las pérdidas por convección sobre el absorbente, a través de un vidrio templado con antirreflejo. Se pueden utilizar cubiertas transparentes adicionales fabricadas a partir de vidrios con antirreflejo o láminas de teflón. Los factores claves son: alta transmitividad, alta estabilidad de temperatura y baja expansión térmica.
3. **Placa absorbedora:** Los materiales comúnmente utilizados para la placa absorbedora son de cobre. Sin embargo, generalmente se utiliza aluminio para reducir costos. Las últimas tecnologías utilizan una placa selectiva que reduce las pérdidas térmicas debido a la radiación infrarroja.
4. **Tubo o canalización de fluido:** Las tuberías se componen principalmente de cobre y para aplicaciones corrosivas se utiliza acero inoxidable. El tubo absorbedor debe ser diseñado para asegurar una alta transferencia de calor.
5. **Aislante térmico:** Debido a la alta temperatura que alcanzan estas tecnologías se utiliza lana mineral o de roca para reducir las pérdidas térmicas en parte trasera del absorbedor. En algunas aplicaciones se utiliza poliuretano en las placas para mejorar los factores térmicos.

Estado de desarrollo

Para aplicaciones que requieran un rango de temperatura desde los 80 hasta los 100 °C, existen un gran número de colectores solares térmicos disponibles en el mercado. Los colectores planos modernos utilizan hoy en día un absorbedor muy selectivo con pocas pérdidas térmicas, y un panel de cubierta antirreflejo simple. A modo de ejemplo, la Figura 3.5 muestra distintos tipo de colectores plano considerando una, dos y tres cubiertas anti-reflejo. Se aprecia cómo se puede mejorar considerablemente la eficiencia de la tecnología con la

incorporación de distintas cubiertas. La mejora es independiente de la temperatura de operación. Además, el colector 2AR alcanza la misma evidencia (η_0) que el colector plano estándar. Por lo tanto, la curva del colector 2AR está por sobre la curva del colector plano estándar. Especialmente para altas temperaturas el colector plano 2AR muestra resultados prometedores.

Figura 3.5: Curvas de eficiencia de un colector solar plano utilizando distinta cantidad de cubiertas (Fuente: IEA Task 33 [2]).



Los colectores planos convencionales con simple cubierta producen temperaturas de hasta 80 °C con una eficiencia suficiente (40-50% con irradiación solar máxima). No obstante, las mejoras con respecto a la reducción de pérdidas térmicas han logrado alcanzar hasta 120 °C, sin considerar un incremento considerable en sus costos.

Para alcanzar esto, es necesario reducir las pérdidas térmicas en la parte frontal del colector, siempre y cuando no se reduzca el rendimiento óptico del colector solo un poco.

Las mejoras en cuanto a las componentes del colector plano se han enfocado en:

- Sello hermético del colector utilizando gases inerte
- Colectores con doble o triple cubierta
- Colectores de vacío de placa plana
- Combinaciones de las alternativas mencionadas

Ha habido algunos prototipos de colectores de placa plana evacuados producidos por diferentes empresas. Sin embargo en el momento todavía carecen del estatus comercial.

Ventajas y desventajas

Los colectores planos modernos son muy eficientes y pueden alcanzar temperaturas de hasta 250 °C si el calor no se transporta a un proceso o a un almacenamiento con el medio fluido. Esto puede suceder cuando

- el proceso no requiere calor (vacaciones, fines de semana)
- el almacenamiento está completamente cargado (menor demanda de lo previsto)
- durante las horas de mantenimiento
- las bombas fallan

Los componentes de un colector pueden soportar estas temperaturas extremas de estancamiento durante algún tiempo, pero la vida útil se acorta cuando esto sucede con frecuencia. También durante el estancamiento con fluidos de transferencia de calor a base de agua, se creará vapor y el fluido tiene que soplar a medida que el volumen aumenta drásticamente. Los componentes anticongelantes del fluido podrían degradarse rápidamente. Debido a que los colectores están diseñados para fluidos a base de agua con tuberías delgadas, en regiones con noches frías se deben usar mezclas anticongelantes para evitar la congelación y el bloqueo del ciclo del colector

3.2.2 .Colector de Tubo Evacuado

Existen varios tipos de colectores de tubo evacuado, los cuales a diferencia de los colectores plano, poseen un mayor uso de área bruta y el efecto de vacío disminuye las pérdidas por conducción. Sin embargo, presentan un mayor costo y requerimientos al momento de su instalación.

Principio de operación y descripción de componentes

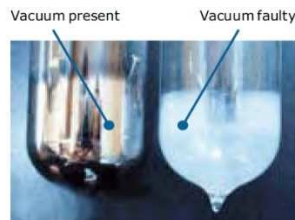
En el mercado global existen una serie de colectores de tubo evacuado con distintas características. Dentro de las características comunes que presenta este tipo de tecnología son:

- Un colector consiste en un arreglo de tubos de vidrio en paralelo.

- El vacío ($<10^{-2}$ Pa) presente al interior de cada tubo, reduce las pérdidas por conducción y elimina las pérdidas por convección.
- La forma del vidrio es siempre un tubo para soportar la fuerza del vacío.
- El extremo superior del tubo evacuado está conectado a una tubería que dirige el fluido.

Durante la construcción de los tubos evacuados se alcanzan altas temperaturas para cubrir la parte inferior del tubo con una capa de Bario (Ba). La capa de Bario permite eliminar componentes de CO, CO₂, N₂, O₂, H₂O y H₂ que puedan generarse dada la operación y almacenamiento del sistema. Además, la capa de Bario permite ver el estado en que se encuentra el vacío al interior del tubo, conforme la Figura 3.6.

Figura 3.6: Posibles fallas en el colector de tubo evacuado (Fuente: IEA TASK 33 [2]).



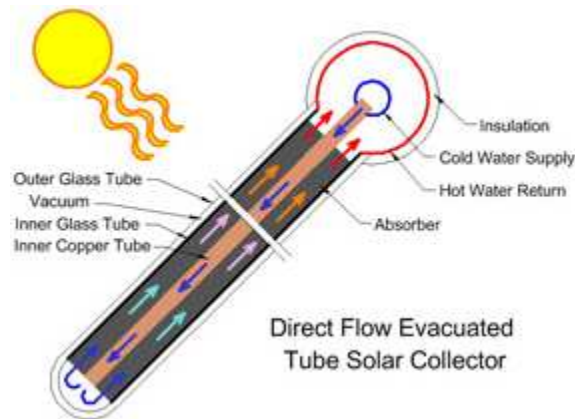
Existen dos grandes categorías para clasificar los colectores de tubo evacuado:

- Tubos de flujo directo: el fluido del circuito solar es circulado a través de las tuberías del absorbedor
- Tubos heat pipe: el calor del absorbedor es transferido utilizando el principio de heat pipe, sin el contacto directo del fluido de trabajo con el circuito solar.

Tubo evacuado de flujo directo

La tecnología de flujo directo posee dos tuberías al interior del tubo absorbedor. La primera se utiliza para el fluido de alimentación y el segundo para el fluido de salida, conforme la Figura 3.7. Entre las tuberías interior y el tubo absorbedor se encuentra el vacío, con la finalidad de disminuir las pérdidas asociadas al proceso. Dado que el fluido entra y luego sale por el otro lado de la tubería y al interior del tubo absorbedor, estas no son fáciles de reemplazar. En el caso de la rotura de un tubo, si se utiliza un circuito cerrado se podrá bombear el fluido fuera del sistema, y en el caso de un circuito abierto el agua fluirá por el tubo roto.

Figura 3.7:
 Operación tubo
 evacuado de flujo
 directo (Fuente:
 Energy Metering[
 16] VDI 3988.
 Guideline "Solar
 thermal process
 heat", to appear
 2017
 [17]).



Tubo evacuado heat pipe

La principal diferencia entre la tecnología de heat pipe y de flujo directo es que el fluido de trabajo al interior del heat pipe de cobre no está conectado al circuito solar.

El vacío al interior permite que el fluido alcance su punto de ebullición a una temperatura menor de lo que sería a presión atmosférica normal. Cuando la radiación solar aumenta en la superficie del absorbedor, el líquido en el tubo se convierte rápidamente en vapor caliente y se eleva a la parte superior del tubo. Luego, el agua o glicol al interior del colector absorbe el calor y el líquido se condensa, fluyendo hacia la parte inferior del tubo, de acuerdo a la Figura 3.8.

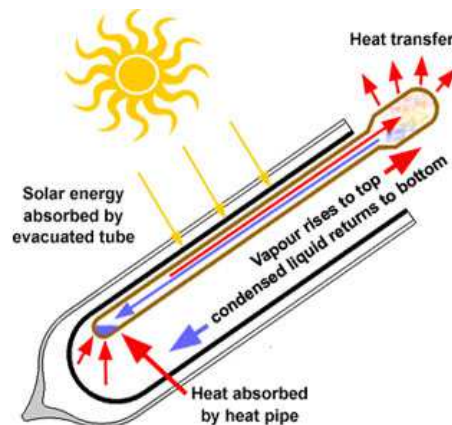


Figura 3.8:
 Operación colector
 de tubo evacuado
 heat pipe (Fuente:
 Apricus[18])

Estado de desarrollo

Los colectores de tubo evacuado generalmente operan a una temperatura entre los 50 a 130 °C. Hay unos pocos tubos para temperaturas 150 – 160 °C especialmente desarrollados para usarlos en procesos industriales. Su eficiencia es mayor para este rango de temperatura en comparación a la tecnología de colectores plano, conforme la Figura 3.9. Esta tecnología comenzó a ser utilizada en grandes cantidades en los mercados de China,

Alemania, Reino Unido, Italia y Australia. Debido a esto, las eficiencias de los sistemas han mejorado, se han reducido las pérdidas térmicas y los costos asociados a la adquisición de los equipos.

Ventajas y desventajas

El rendimiento de colectores de tubos evacuados normalmente es más adecuado por temperaturas de 80 °C hasta 150 °C. Una integración en el edificio en el sentido de que los colectores también forman parte de la cáscara de construcción apretada exterior no es posible. Los tubos son más sensibles durante la instalación que los colectores de vidrio plano. Por otro lado, no se utiliza material aislante que reduzca el riesgo de desgasificación de componentes con altas temperaturas. Sólo los productos baratos se rompen fácilmente o se destruyen, por granizo Sin embargo, es difícil para un no experto para evaluar la calidad.

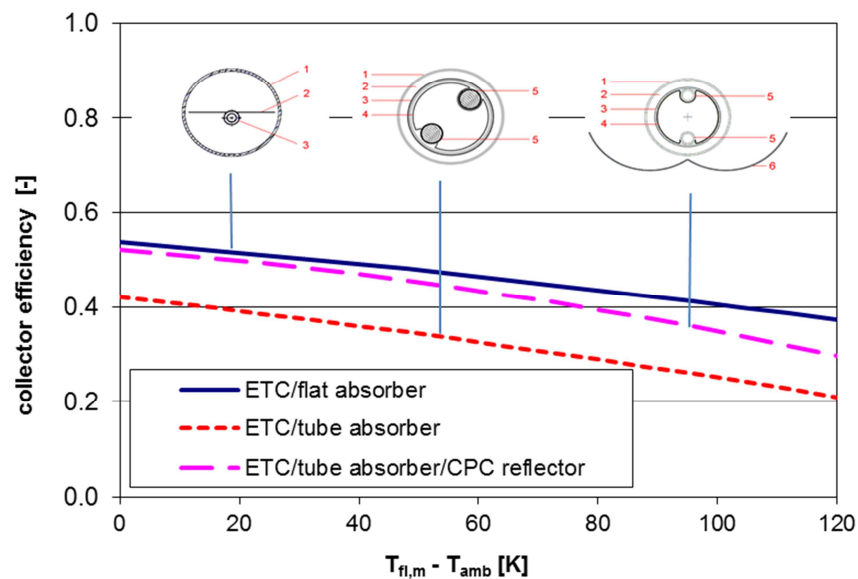


Figura 3.9: Curvas de eficiencia de tecnologías de tubos evacuados en función a la temperatura de operación (Fuente: Elaboración propia)

3.2.3 Colector Cilindro Parabólico

Los colectores cilindro parabólico están diseñados para alcanzar temperaturas por sobre los 100 °C y hasta los 450 °C. Además, la tecnología permite mantener una alta eficiencia debido a la gran área de colección (área de apertura) que presenta y una pequeña área donde se pierde calor al ambiente (superficie absorbadora).

Principio de operación

La superficie de reflexión o concentrador lineal del colector cilindro parabólico posee una sección parabólica. La curva de la parábola opera de forma que la radiación incidente de forma paralela al eje al espejo parabólico, es reflejada en un solo punto desde cualquier lugar de la curva, conforme la Figura 3.10. El sistema solo opera con radiación directa (excluyendo radiación difusa), la cual incide sobre la parábola y se concentra en un punto focal.

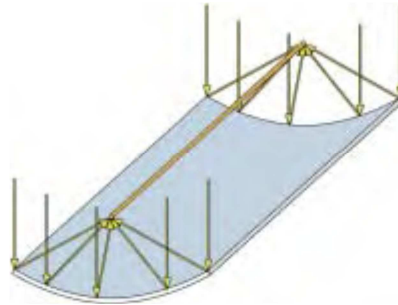


Figura 3.10: Principio de operación colector cilindro parabólico (Fuente: IEA TASK 33[2]).

Los colectores cilindro parabólicos pertenecen a la gama de tecnologías de concentración solar y poseen un dispositivo de seguimiento solar. El dispositivo de seguimiento está diseñado para seguir el sol en una sola orientación: nortesur o este-oeste. Debido a que los colectores cilindro parabólico solo utilizan radiación directa, los días nublados presentan un mayor problema con comparación a los colectores planos, que utilizan radiación difusa. Se requiere una continua mantención y limpieza del sistema para mantener un rendimiento constante del equipo.

Descripción de componentes

Una estructura compuesta por perfiles de metales y vidrios curvos componen la superficie reflectante del colector cilindro parabólico. La superficie reflectante generalmente es una lámina de aluminio o un revestimiento reflexivo aplicado directo al vidrio.

El receptor consiste de un tubo absorbedor posicionado en la línea focal del colector cilindro parabólico. El absorbedor posee una capa negra (no selectiva) o selectiva para absorber la mayor cantidad de radiación solar posible. El fluido de trabajo circula a través de un tubo (acero, acero inoxidable u otros metales), el cual puede ser diseñado como absorbedor. El tubo absorbedor en casi todos los productos tiene un cilindro de vidrio como cubierta circundante, donde la separación entre los mismos puede ser evacuada o llena de aire. Las tres combinaciones prácticamente utilizadas

- Absorbedor negro no selectivo y tubo de vidrio no evacuado
- Absorbedor selectivo y tubo de vidrio no evacuado

- Absorbedor selectivo y tubo de vidrio evacuado

Obviamente tienen pérdidas de calor muy diferentes.

Una vez circulado el fluido a través del campo de colectores cilindro parabólico, se utiliza generalmente un sistema de almacenamiento térmico para suministrar energía en periodos de bajo o nulo recurso solar, conforme la Figura 3.11. Los fluidos usados dependen de productos: agua de alta presión, agua/vapor o aceite sintético. Las plantas de colectores cilindro parabólico pueden suministrar calor a través de un intercambiador de calor hacia un proceso térmico.

Sin embargo, existe un mayor uso de estas tecnologías para la generación de electricidad, utilizando el calor generado por el campo de colectores cilindro parabólico para alimentar un ciclo de rankine convencional (CSP=concentrated solar power).

Los colectores solares para aplicaciones procesos industriales de calor suelen ser mucho más pequeños que los productos para CSP. Tienen un ancho de espejo de 0,8 a 2,5 m, mientras que los colectores CSP tienen anchos de abertura de 6 m y más. Debido a que el tamaño del colector es menor y un menor número de colectores es necesario para un campo solar industrial usualmente los colectores industriales se producen en una fábrica y se envían en contenedores típicos de 20 pies al sitio del cliente. Sin embargo, los colectores CSP se montan en el sitio, y se necesita un propio sitio de fabricación para este propósito.

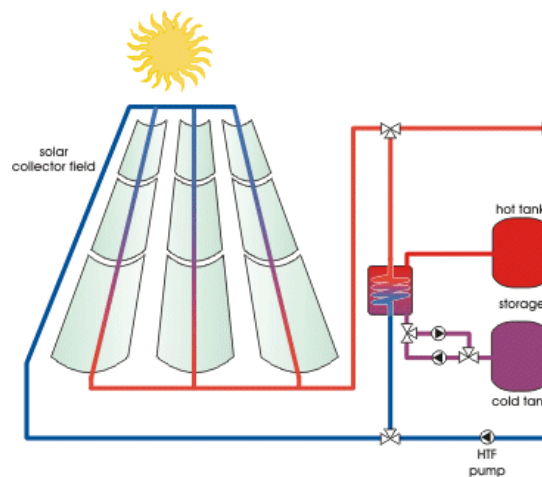


Figura 3.11: Planta de colectores cilindro parabólico. (Fuente: Solar Server[25]).

Estado de desarrollo

Existen una serie de proyectos de plantas de colectores cilindro parabólico de gran tamaño para la generación de energía eléctrica en una planta CSP, los cuales han operado por un periodo de tiempo prolongado (los primeros plantas operan en EEUU desde 1984 con aceite sintético). En los últimos años,

se han desarrollado colectores cilindro parabólico de menor tamaño para el fin específico de producir calor por procesos industriales.

Ciertamente hay más de 20 empresas en España, Italia, Alemania, India, Estados Unidos, pero también países Latinoamericanos como México que pueden producir estos pequeños colectores, con cifras de rendimiento y especificaciones diferentes. La madurez de estos productos no es idéntica. Algunos se centran en la tecnología de bajo costo, otros en técnicas de producción altamente industrializadas.

Ventajas y desventajas

Como fue mencionado los cilindros parabólicos solo utilizan el sol directo. La desventaja es que la radiación difusa no puede ser transformada en calor útil. La ventaja es que si hay un problema con las bombas, si la demanda no existe, es muy fácil evitar las temperaturas de estancamiento. Cuando el motor de seguimiento se detiene, el foco de la radiación solar en cuestión de minutos se desplaza a un lugar fuera del tubo receptor y no se produce más calor. Ahora los colectores de concentración poseen una función automática de seguridad. Si se necesita calor, los colectores pueden producir temperaturas de fluido muy alto, en la práctica. La temperatura en la práctica depende principalmente del límite de temperatura permitido de materiales (tubos absorbentes, conexiones, fluidos, motores y válvulas) utilizados. Así que existen productos con un límite operacional de 180 °C y de 650 °C.

Aunque todas las tecnologías solares tienen que ser limpiadas a veces para trabajar con alta eficiencia (dependiendo de la tasa de suciedad con el polvo) las tecnologías de concentración debido a los principios físicos reducen su rendimiento más rápido que los colectores sin concentración y por lo tanto tienen que ser limpiados con más frecuencia.

3.2.4 Concentrador lineal Fresnel (Compact Linear Fresnel Reflector CFLR)

Principio de operación y descripción de componentes

El concentrador lineal del sistema está diseñado a partir del principio de Fresnel, el cual consta de dividir una parábola en segmentos desplazados en un plano horizontal. Cada segmento posee un espejo con seguimiento alrededor de su eje longitudinal; junto con un tubo de vacío absorbedor ubicado en un desplazamiento vertical en relación con su distancia focal (ver Figura 3.12). Además, se utiliza un concentrador secundario situado alrededor del tubo absorbedor para mejorar su comportamiento óptico.

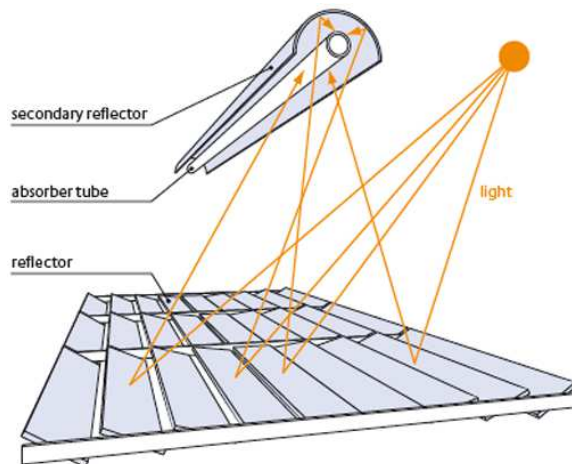


Figura 3.12:
Comportamiento
sistema Fresnel
(Fuente: Industrial
Solar[23]).

Los colectores Fresnel utilizando un arreglo de espejos con seguimiento en un eje para direccionar la radiación directa hacia un receptor térmico estacionario, conforme la Figura 3.13.

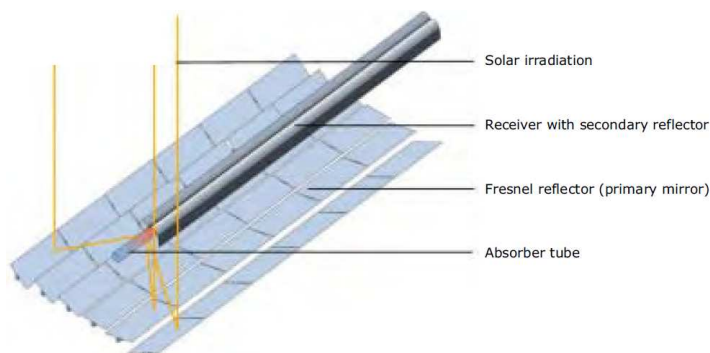


Figura 3.13:
Operación colector
Fresnel (Fuente: IEA
Task 33 [2])

La construcción de la tecnología de Fresnel comprende una instalación relativamente simple, soporta bajas cargas de viento, un receptor estacionario y un uso intensivo de tierra o techo. De las tecnologías de concentración la tecnología Fresnel necesita la menor área para una cierta potencia térmica. Algunas aplicaciones permiten utilizar el área sombreada bajo el colector, por ejemplo para la agricultura o para estacionamiento de vehículos.

Estado de desarrollo

Al igual que los colectores cilindro-parabólicos, los colectores de Fresnel fueron desarrollados primero para grandes plantas CSP para la generación de energía eléctrica por compañías como MAN Ferrostaal, Novatec Solar en Alemania y Ausra en California. Estos colectores no utilizaban ya el caro aceite sintético pero producían directamente vapor (DSG = generación directa de vapor) en el colector. La energía de vapor, sin embargo, es difícil de almacenar, por lo tanto hoy Frenell GmbH en Alemania también trabaja con la tecnología de sales fundidas que permite temperaturas más altas (hasta 650 °C) y combina idealmente con almacenamiento térmico.

Para el calor del proceso industrial se han desarrollado colectores más pequeños que a veces son perfectamente adecuados para la aplicación en techos planos, ya que necesitan poco espacio y son poco susceptibles a las cargas de viento.

Aunque la diferencia entre los colectores para la industria de energía y para el calor de proceso industrial no está estrictamente definida, hay cerca de 10 empresas en Alemania, Italia, Austria, China, India y Estados Unidos que pueden producir estos colectores que trabajan con agua presurizada, El aceite sintético es fluido. De nuevo tienen cifras de rendimiento y especificaciones muy diferentes - algunos funcionan hasta 180 °C otros hasta 400 °C. La madurez de estos productos no es idéntica.

Ventajas y desventajas

El colector Fresnel tiene propiedades similares como los cilindros parabólicos. Pero en unos aspectos hay ventajas de esta tecnología en asuntos prácticos. El peso del colector y de los componentes es bajo. Es colector modular es fácil a transportar. Los espejos con pequeño tamaño tienen bajas cargas de viento. Los problemas y costos asociados con conectores móviles o flexibles son mínimos con un receptor estacionario. El diseño compacto permite un uso intensivo de tierra o techo. El colector Fresnel es fácil de instalar en techos de las infraestructuras dada la buena distribución de carga y baja resistencia al viento. Además, no utiliza grandes áreas por lo que se pueden instalar próximo a los procesos que requieran energía térmica.

3.3 Aplicaciones

En general, la tecnología de colectores solares plano es factible para procesos industriales de hasta 80 - 100 °C y para el sector residencial. Los tubos pueden ser útiles hasta una temperatura de funcionamiento de 150 °C. Dependiendo de los costos del colector, la cantidad de radiación directa y el perfil de demanda diaria los cilindros parabólicos y los colectores Fresnel lineales se pueden utilizar incluso para aplicaciones de baja temperatura, aunque esto no es común. Se hacen necesarios cuando se requieren temperaturas superiores a 150 °C, que son especialmente indispensables para la producción de vapor. Como los materiales utilizados difieren ampliamente en todos los productos (materiales de construcción, conectores, fluidos de transferencia de calor), el límite superior de temperatura a menudo da una indicación de qué producto es el mejor para un proyecto.

La decisión an important en la aplicación del calor del proceso solar es la opción de cómo integrar el calor solar en la fuente industrial. En principio hay dos opciones principales

- Integración a nivel de proceso
- Integración en el nivel de suministro

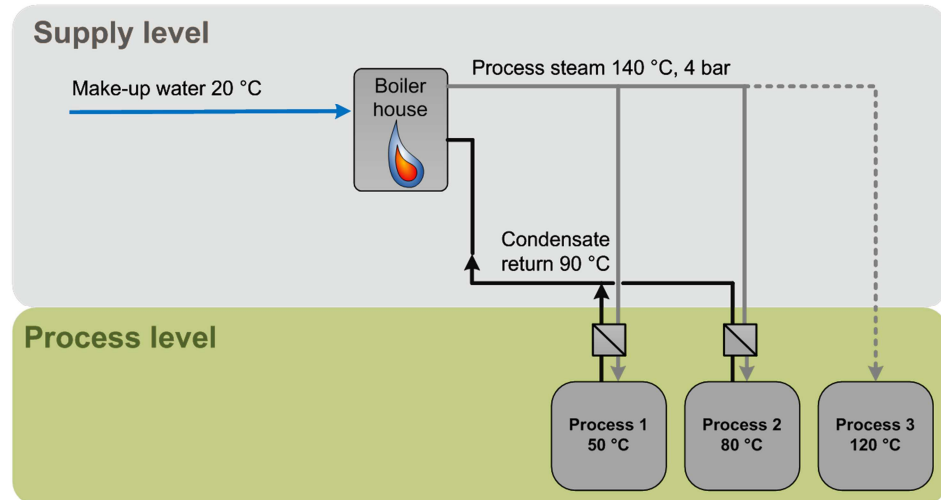


Figura 3.14: Niveles des proceso (process) e del suministro (supply)

La ventaja de la integración a nivel de proceso es que puede ejecutar el sistema solar con la temperatura más baja adecuada para el proceso. En el nivel de suministro hay que elegir el nivel que puede incluso servir al proceso con la temperatura de operación más alta.

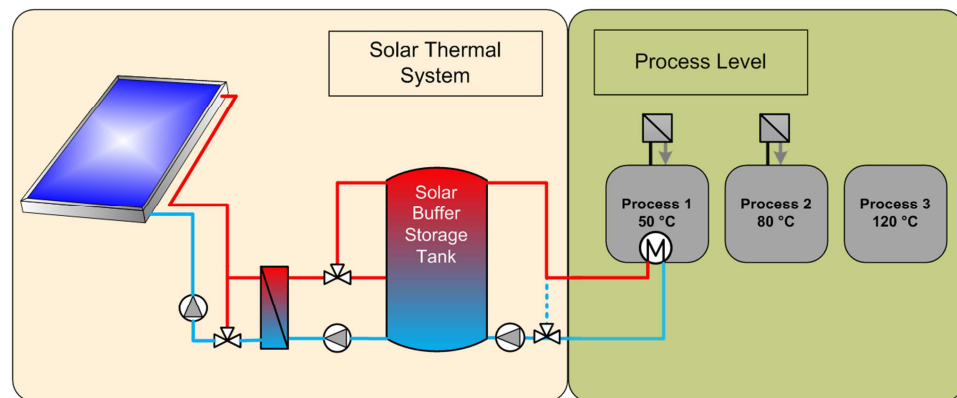


Figura 3.15: Integracion a nivel de proceso

Si hay una integración en el nivel de proceso, es necesaria una estrecha interacción con los ingenieros de proceso. También hay que saber qué temperaturas se necesitan en la industria (Figura 3.15). Para una integración en el nivel de suministro sólo se necesita conocer las características operativas de la red de distribución de calor. Hay diferentes puntos de integración y de nivel de temperatura (Figura 3.16).

Los colectores de concentración solar como Linear Fresnel y Cilindro Parabólico presentan un gran potencial en:

- Procesos industriales: donde la demanda de calor requiere temperaturas entre los 100 – 200 °C. Pueden ser utilizados para la generación de vapor directo o indirecto. Además, puede ser utilizado para pre-calentar el vapor previo a la caldera.
- Accionar chillers de absorción: es posible utilizar el calor generado por esta tecnología para accionar chillers de absorción de estado single o doble. Estos últimos presentan una mayor eficiencia dado que logran menores temperaturas requeridas por los procesos térmicos de las industrias.

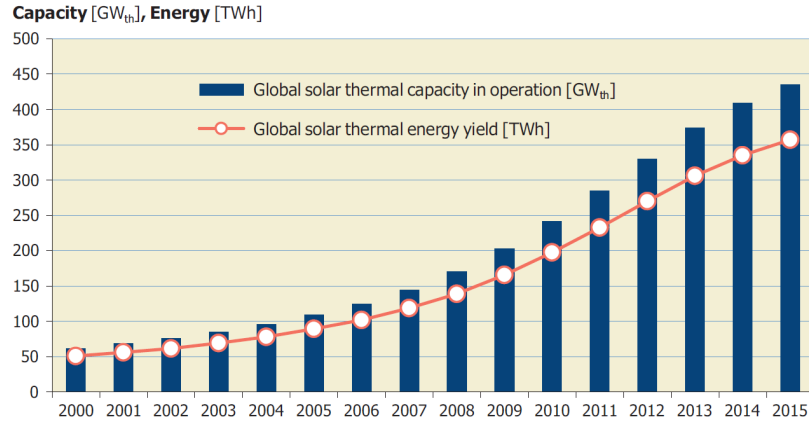
Tabla 2: Temperaturas de los procesos industriales con medias y altas temperaturas (aptas para colectores con concentración) [Fuente: <http://www.xn--solare-prozesswrme-ztb.info/markt/>]

Area Industria	Procesos Operación	Rango de temperatura de operación [°C]
General	Agua de alimentacion Caldera	20 - 110
	Refrigeracion	80 - 220
	Lavado	30 - 90
	Produccion vapor	140 - 220
Madera	Barnizado	40 - 70
	Cocción al vapor	75 - 95
	Coccion	80 - 90
	Presion	120 - 165
	Secado	40 - 150
Papel	Barnizado	40 - 150
	Destintado	50 - 70
	Cocción	110 - 180
	Secado	95 - 250

4 Mercado Solar Actual

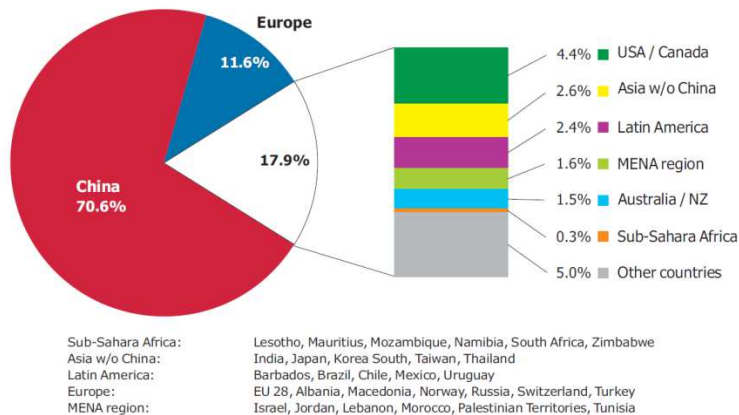
La capacidad global de colectores solares térmicos ha crecido progresivamente durante los últimos años. De acuerdo a la Agencia Internacional de Energía (EIA), quien realiza anualmente un reporte sobre la capacidad solar térmica instalada, la capacidad instalada ha crecido desde los 62 GWth hasta los 435 GWth en los últimos 15 años, conforme la Figura 4.1.

Figura 4.1:
 Capacidad global solar térmica en operación y producción anual de energía (Fuente: IEA Solar Heat Worldwide [7]).



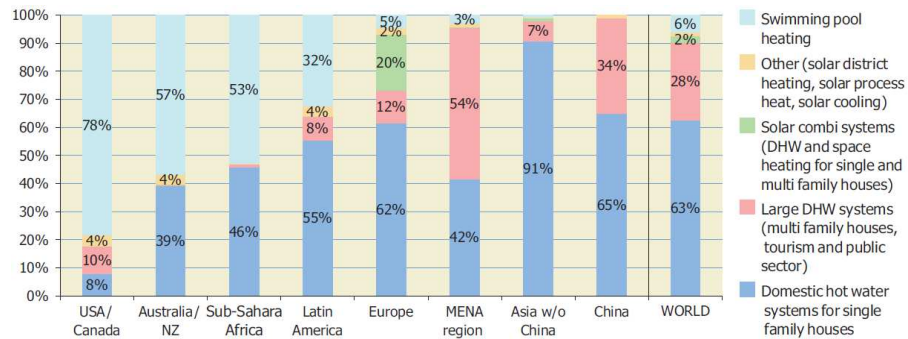
Gran parte de la capacidad instalada en operación se registra en China (289.5 GWth) y Europa (47.5 GWth), que en conjunto representan el 82.1% de la capacidad total instalada, conforme la Figura 4.2. En cuanto a la capacidad instalada restante participan: Estados Unidos y Canadá (18.0 GWth), Asia (10.7 GWth, sin considerar China), América Latina (10.0 GWth), los países de la región de MENA (6.6 GWth), Austria y Nueva Zelanda (6.2 GWth) y los países africanos de Sub-Sahara (1.3 GWth). Es necesario destacar que en el mercado global hasta ahora sólo se están presentando colectores no concentradores. Aunque los colectores concentradores tienen un alto potencial en países como Chile, todavía no juegan un papel en las estadísticas del mercado.

Figura 4.2:
 Participación de la capacidad total instalada en operación de colectores solares térmicos durante el año 2014. (Fuente: IEA Solar Heat Worldwide [7]).



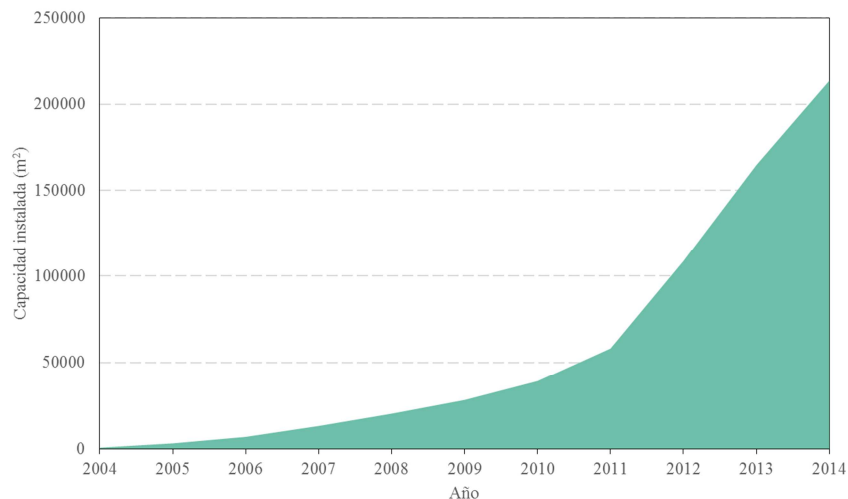
A finales del año 2014, 584 millones de metros cuadrados de sistemas de colector solar correspondiente a 409 GWth están en operación a nivel mundial. Del total, el 6% corresponde a aplicaciones para piscina, el 63% para agua caliente sanitaria de viviendas unifamiliares y el 28% corresponden a agua caliente en sectores multifamiliares, hoteles, hospitales, colegios, etc. (ver Figura 4.3).

Figura 4.3:
 Distribución de sistemas de colector solar térmico por aplicaciones para la capacidad total instalada año 2014 (Fuente: IEA Solar Heat Worldwide [7]).



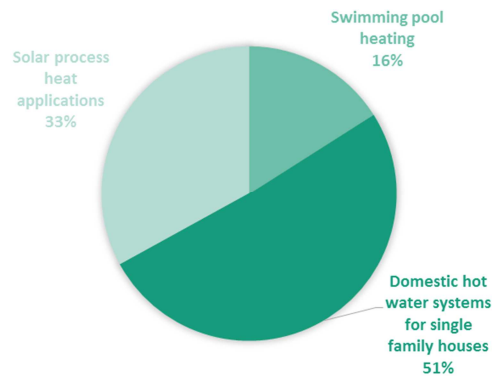
A nivel nacional, de acuerdo a proyecciones realizadas por FCR-CSET, se estima que la capacidad instalada de sistemas de colectores térmicos alcanza los 215.000 m². A partir del año 2011, se ha generado un aumento considerable en la industria solar nacional, conforme la Figura 4.4. Cabe destacar que nuestro país cuenta con una de las planta de colectores solares térmico de mayor tamaño del mundo, llamada Pampa Elvira Solar perteneciente a Codelco con un área de 39.300 m²[15[15].

Figura 4.4:
 Capacidad instalada en Chile de sistema de colector solar térmico.



Una parte considerable de los sistemas instalados en Chile son utilizados en el sector industrial, a diferencia de la estadística mundial (ver Figura 4.3). De acuerdo a las proyecciones realizadas conforme la Figura 4.4, el 33% (76.000 m²) corresponde a sector de procesos industriales, mientras que el restante 67% comprende el sector residencial para agua caliente sanitaria (118.000 m²) y para la calefacción de piscinas (37.000 m²).

Figura 4.5:
 Distribución de
 sistemas de colector
 solar térmico por
 aplicaciones para la
 capacidad total
 instalada en Chile
 año 2014.



Es de esperar que la participación de las tecnologías solares térmicas en procesos industriales aumente considerablemente dentro de los próximos años. Esta integración presenta una gran oportunidad para diversificar el consumo energético de las empresas y disminuir la dependencia de combustibles fósiles que cada día se vuelven más escasos.

Chile podría ser un mercado importante para los colectores con concentración, ya que por un lado Chile tiene los mayores valores mundiales de irradiación solar directa (DNI) y los colectores con concentración tienen un gran potencial desde el Norte en Arica hasta la región de Rancagua. Por otro lado también la calefacción residencial es menos importante que las aplicaciones de calor industrial. El calentamiento con vapor y enfriamiento con enfriadores de absorción utilizando la misma tecnología de colectores podría ser muy eficiente.

5 Potencial de Mercado

El mercado de tecnologías solares térmicas se ha expandido progresivamente a nivel mundial, generando instalaciones tanto en el sector residencial como en el industrial. En cuanto al sector residencial, el mercado se encuentra en una etapa de desarrollo y se utiliza principalmente para generar agua caliente sanitaria, apoyo de calefacción solar parcial con sistemas Combi y calefacción de piscina. Otras aplicaciones, como el caso de distritos de calor, se encuentran en la etapa de introducción avanzada al mercado y existen unas instalaciones mas baratos a nivel mundial. Especialmente en Dinamarca, pero tambien en otras paises de Europa como Austria y Francia, los campos solares grandes apoyan las redes de calefacción de distrito a precios extremadamente bajos porque aquí las leyes economicos de la escala aplican en los proyectos. Los campos solares de varios 1000 m2 son mucho más baratos que las instalaciones de casas unifamiliares. Luego, el caso de generación de calor para y frío para procesos, estos se encuentran en una etapa de desarrollo e investigación, en donde las principales instalaciones son a nivel piloto para evaluar la integración de estas tecnologías. Eso no significa que las tecnologías no son maduras (son las mismas que en otros aplicaciones) pero que la ingeniería es mas especial y la planificación no es estandarizado. Por eso en Alemania el Asociacion de Ingenieros Alemanos (VDI) esta en el proceso de publicacion de una guía para planificar tales proyectos [16].

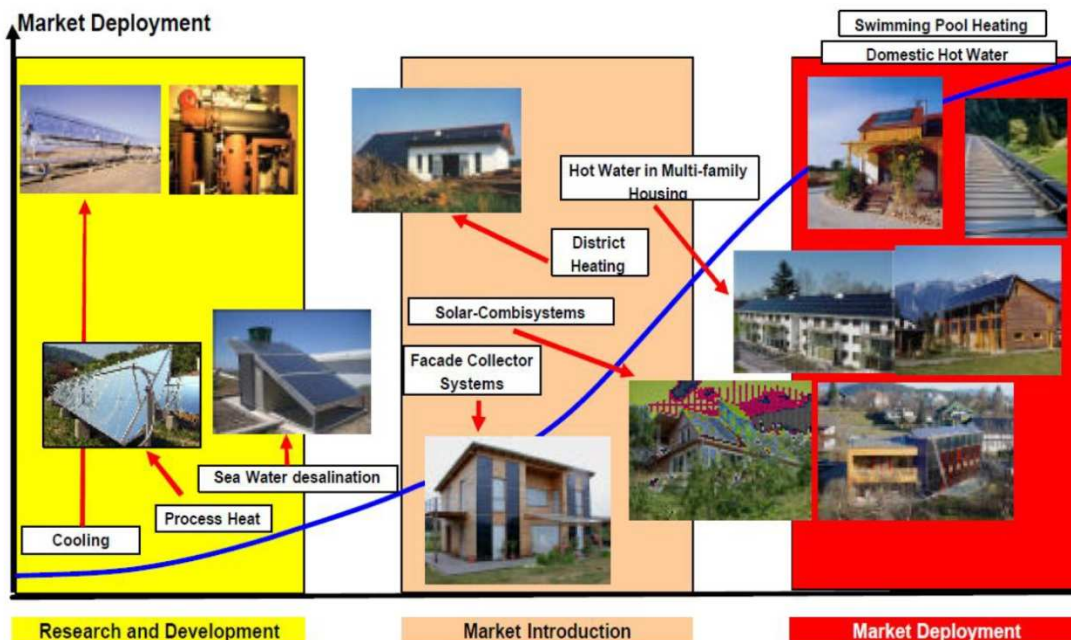


Figura 5.1: Desarrollo del mercado solar térmico (Fuente: Faninger [22])

5.1.1 Potencial de Mercado en Chile

El sector industrial representa un mercado clave para aumentar la participación de las tecnologías solares térmicas en el mercado de las energías renovables no convencionales. En el 2014, el sector industrial utilizó el 36% del consumo total de la energía de Chile (ver Figura 5.2). Por otro lado, el sector comercial, público y residencial representó el 22% de este consumo. Ambos rubros pueden ser cubiertos mediante la incorporación de tecnologías solares térmicas, representando un gran nicho de mercado.

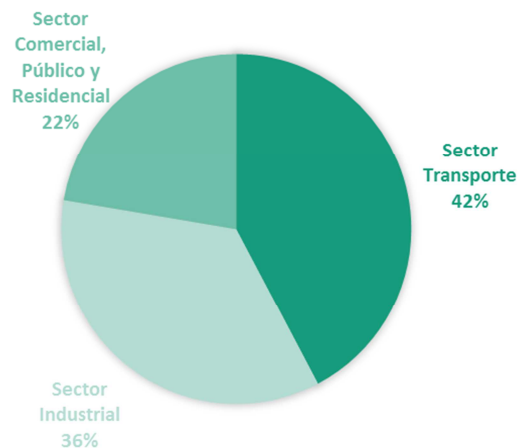


Figura 5.2: Balance nacional de energía por sector de Chile para el año 2014 (Fuente: Ministerio de Energía[21])

El estudio realizado por AppSol [20] cuantificó la demanda térmica de los principales rubros que componen la industria chilena, conforme la Figura 5.3. Los resultados muestran que el mayor consumo energético es requerido en las industrias de: alimentos, papelera y celulosa, productos de madera y minería. Las cuales se encuentran a lo largo de todo el territorio nacional, concentrándose específicamente en las regiones: de Bio Bio, Metropolitana, Valparaíso y Antofagasta. Cabe destacar que el estudio solo considero temperatura de procesos hasta 250 °C, por lo tanto, la minería de alta temperatura no es considerada en este estudio.

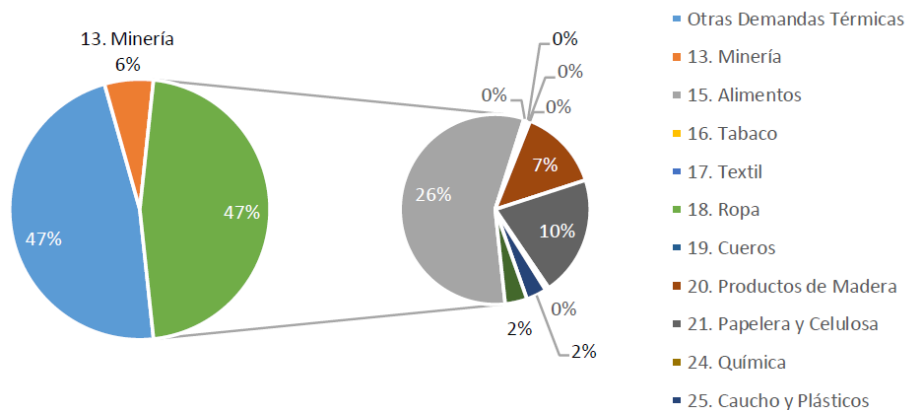


Figura 5.3: Distribución de demanda térmica en la industria Chilena (Fuente: AppSol[20])

Además, el estudio de AppSol cuantificó el consumo energético de acuerdo a rangos de temperatura de los distintos productos generados por las industrias chilenas, conforme la Figura 5.4. Mediante las tecnologías solares térmicas disponibles en el mercado, es factible suministrar estas temperaturas por lo que la alternativa de energía solar es completamente viable.

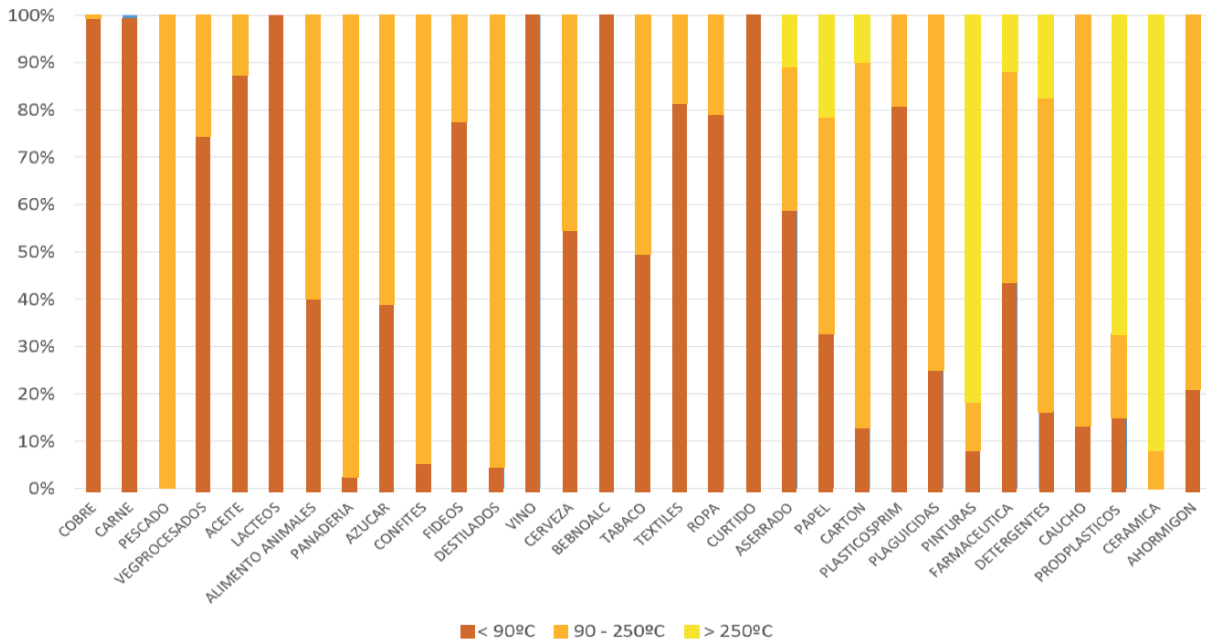


Figura 5.4: Consumo energético por rango de temperatura de productos presentes en las industrias chilenas. (Fuente: AppSol[20]).

5.1.2 Potencial de integración a sectores industriales

Las tecnologías solares térmicas disponibles en el mercado logran alcanzar temperatura desde los 50 hasta los 400 °C, permitiendo integrarse a una gran gama de procesos térmicos presentes en la industria chilena, conforme muestra la Figura 5.5. Los rangos de temperatura presente en los procesos, permiten la integración de distintas alternativas solares disponibles. La selección de la alternativa viable dependerá directamente de la temperatura requerida por el proceso y de la estrategia de integración seleccionada ya sea a nivel de suministro o de proceso.

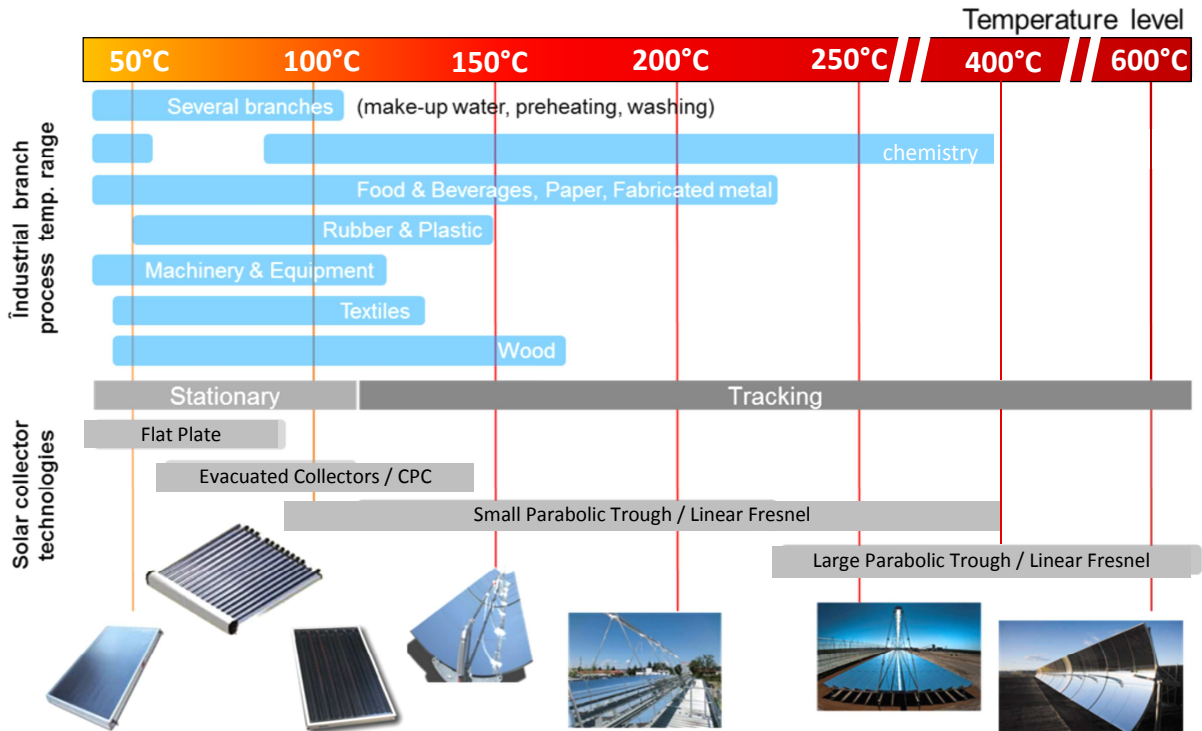


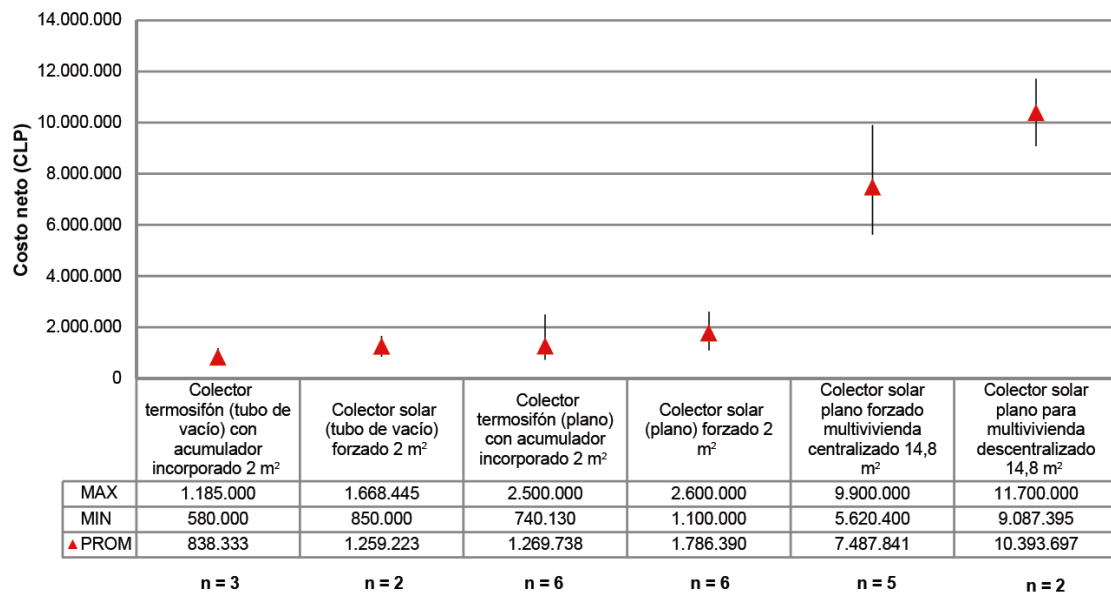
Figura 5.5: Tecnologías solares térmicas disponibles relacionadas con las temperaturas de operación y temperatura de distintos procesos térmicos (Fuente: IEA TASK 49[3], actualizado).

6 Costos asociados al calor solar

6.1 Sector Residencial

El Ministerio de Energía y la Sociedad Alemana de Cooperación Internacional (GIZ), elaboraron durante el año 2015, la primera versión del Índice de Precios de Sistemas Solares Térmicos[14]. Con el objetivo de contribuir al desarrollo del mercado solar, se levantó información sobre los costos asociados para viviendas unifamiliares y multivivienda tanto en Chile como en Alemania.

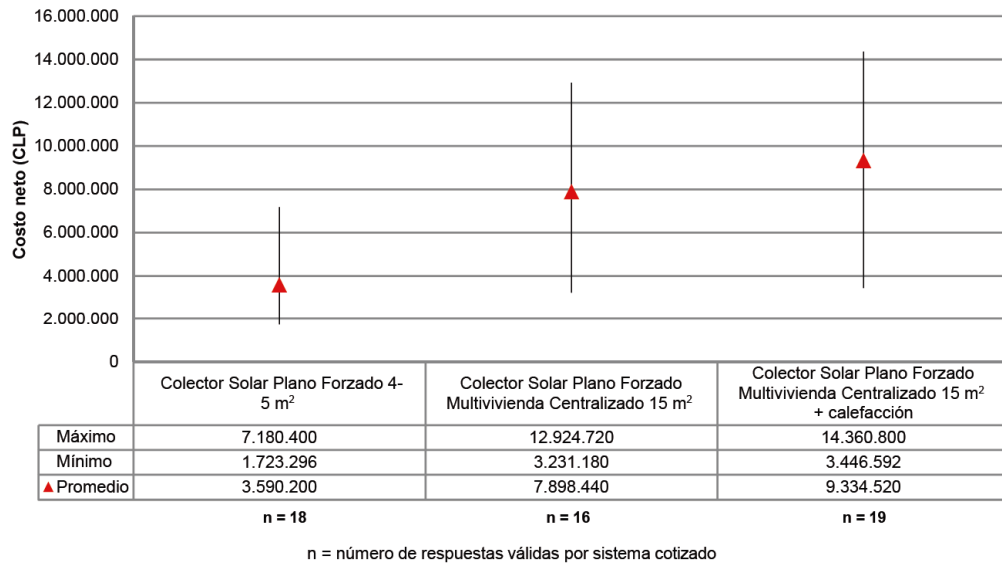
En el contexto nacional, participaron 12 empresas que enviaron su información para seis distintos casos: cuatro sistemas para viviendas unifamiliares y dos para viviendas multifamiliares, conforme la Figura 6.1



n = número de respuestas válidas por sistema cotizado

Figura 6.1: Costo neto de sistemas solares térmicos comercializados en Chile durante Junio 2015 [14]

En cuanto a los resultados del mercado de Alemania, una mayor cantidad de empresas participaron en el estudio, no obstante, los resultados presentan una mayor dispersión de precios, conforme la Figura 6.2. La dispersión se genera por la diferencia entre los productos alemanes y los productos provenientes del mercado Chino que presentan un menor precio.



1 Euro = 718,04 CLP
 (22 de Junio, 2015)
 Banco Central de Chile

Fuente: BüroF; German Solar Association (BSW-Solar)

Figura 6.2: Costo neto de sistemas solares térmicos comercializados en Alemania Junio 2015[14].

Los resultados de la industria chilena y alemana para viviendas unifamiliares no pueden ser comparados directo debido a la diferencia en la dimensión del sistema solar térmico. Esta diferencia es causada por el recurso solar presente en cada país, él cual es menor en Alemania. Para compensar este déficit, se incrementa la superficie de captación de manera de satisfacer la demanda requerida. La siguientes resultados de dos simulaciones, una de un sistema 5m² en Mannheim/Alemania, y otro de 2m² en Santiago/Chile, muestran que los dos sistemas tienen ahorros energeticos muy similares – en Alemania von un sistema mas grande 1.6 MWh/a y en Chile 1.4 MWh/a. Los consumos energeticos convencionales en una vivienda unifamiliar estan casi identicos con 1.7 MWh/a. Por eso se puede decir que aproximadamente en Chile los costos solares de una MWh de agua caliente estan en promedio un tercio de los costos en Alemania. Ademas los simulaciones muestran que la produccion de calor solar es menos cambiando de verano al invierno.

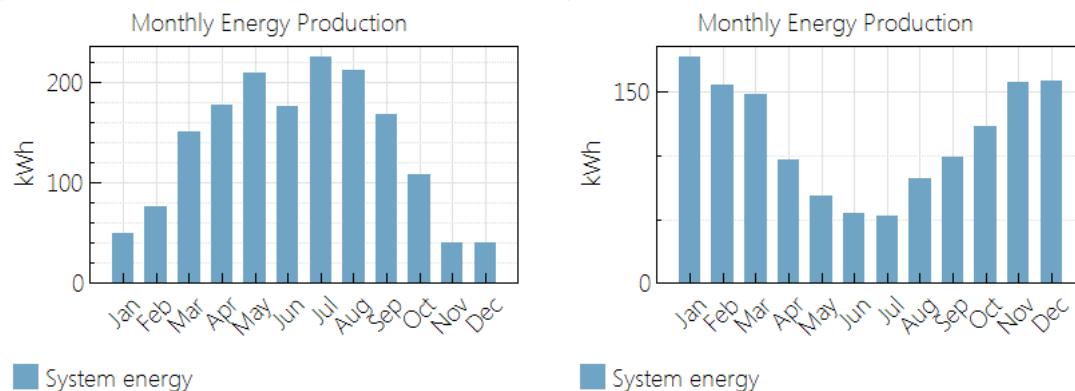


Figura 6.3: Comparacion del calor solar producido en un sistema 5m² en Alemania (izquierda) y 2m² en Chile (derecha)

Para el caso de viviendas multifamiliares, la superficie útil requerida en cada industria es similar. El costo en Chile es un 5.3% menor que el costo registrado en Alemania. Esta diferencia solo es muy pequeña para lograr concluir algo al respecto, se puede originar por las tasas consideradas en cada caso.

En este caso simulamos un sistema solar térmico idéntico con colectores de 15 m² para una vivienda multifamiliar. Los resultados muestran que en Chile se puede satisfacer una demanda mucho mayor con el mismo sistema en Alemania: En un edificio con dos veces el consumo diario de agua caliente del edificio en Alemania, en Chile se puede ahorrar aproximadamente el doble de calor con 14,7 MWh/a para comparar al 7,9 MWh/a en Alemania. En otras palabras, también para sistemas de mayor tamaño para viviendas en Chile los costos de agua caliente solar aproximadamente son 50% de los costos en Alemania.

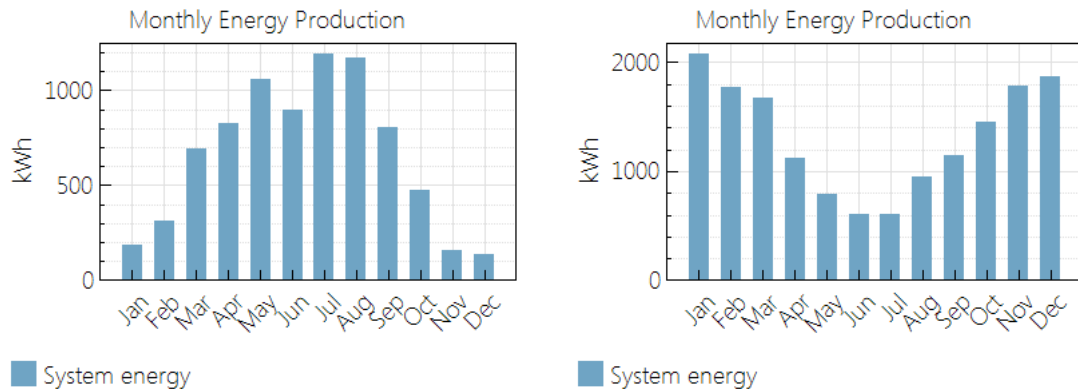
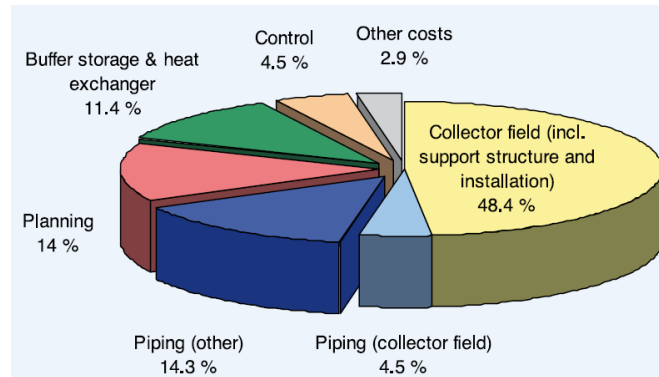


Figura 6.4: Comparación del calor solar producido en un sistema 15m² en Alemania (izquierda) y 15m² en Chile (derecha)

6.2 Sector Industrial

El costo de instalaciones solares térmicas para procesos térmicos en Europa tiene un valor que varía entre los 180 – 500 €/m². El costo depende del diseño del sistema, tamaño, componentes seleccionadas y los factores específicos del país (sueldos, mano de obra, entre otros). La Figura 6.5 representa la distribución de costos para instalaciones de gran tamaño en Europa.

Figura 6.5:
 Distribución de
 costos de instalación
 para sistemas
 solares térmicos de
 gran tamaño.
 (Fuente: So-Pro
 project, EU 2011[
 24]).



El costo asociado a la instalación solar térmica es independiente del sector productivo seleccionado y generalmente presenta un costo mayor que los sistemas de energía convencionales. En el caso, de ser planeada y mantenida de manera correcta, puede tener una vida útil de hasta 20 años y lograr convertirse en una alternativa competitiva.

Los beneficios asociados a los sistemas solares térmicos, en particular para instalaciones de gran tamaño, son principalmente en el contexto ambiental, político y económico.

Del punto de vista ambiental, se reducen las emisiones de componentes dañinos. La reducción de CO₂ dependerá de la cantidad de combustibles fósiles reemplazados de manera directa o indirecta, al momento en que se reemplace el combustible fósil para la generación de agua caliente. Dependiendo de la localidad, un sistema de 1.4 MW_{th} (2000 m²) puede generar 1.1 GWh_{th}/año en Europa (en Chile region Metropolitana mas de 2 GWh_{th}/a), reduciendo las emisiones de CO₂ en 175 Mt. Los beneficios políticos y económicos están asociados a los ahorros potenciales en términos energéticos y la posibilidad de asegurar el suministro energético.

De acuerdo a estudios realizados por IEA [6], para instalaciones de medio a gran tamaño en Europa los costos de inversión puede variar entre 350 a 1040 USD/kW_{th}. Aquí los costos de 350 a 400 USD/kW_{th} en las instalaciones de redes de calefaccion en Dinamarca con unos 1000 m² de campo solar podrian ser un ejemplo para instalaciones en la minería en Chile. En términos de costos de energía, puede variar de 20 a 70 USD/MWh_{th} en el sur de Estados Unidos y de 40 a 150 USD/MWh_{th} en Europa. Como dicho tambien en Chile el nivel de irradiacion es mas alta que den Europa, incluso más de lo que es en el sur de EE.UU. Los costos de calor de 20 a 70 USD/MWh_{th} deberian similar en Chile. Claramente eso significa en Chile hay muchas oportunidades siempre y cuando que la cualidad de planificacion y del mantenimiento del sistema solar termico es de garantizado.

El costo de generación de calor solar para procesos industriales depende altamente de la localidad, proceso y temperatura requerida. En este contexto,

para aplicaciones de gran tamaño en el sur de Estados Unidos las tecnologías solares térmicas poseen costos similares a los de gas natural. Sin embargo, Europa posee una gran variación dado los distintos costos de las tecnologías y la disponibilidad de recurso solar, conforme la Figura 6.6. No en todos los países las tecnologías solares térmicas logran competir con las tecnologías convencionales, debido a esto es necesario que estos países presenten subsidios para reducir los altos costos de inversión.

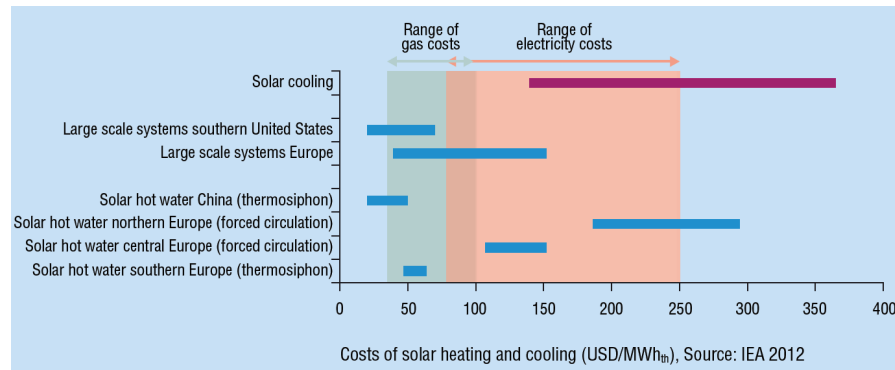


Figura 6.6: Costos de calor solar para procesos. (Fuente: IEA [6]).

En cuanto a las tecnologías solares térmicas para rangos de alta temperatura, de acuerdo a estudios realizados por IRENA, depende en un gran porcentaje sobre el lugar en donde se realizó la inversión, conforme [12]

Tabla 3: Costos de tecnologías de concentración. (Fuente: IRENA, 2015[12])

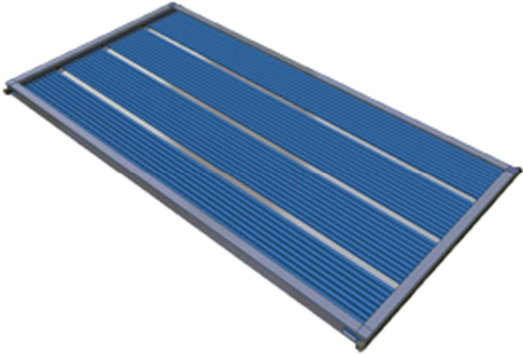

	Potencia térmica específica (kW/m ²)	Localidad	Costo (USD/m ²)	Costo (USD/kW)
Colector cilindro parabólico	0.5 - 0.56	Europa	650	1160 - 1300
	0.22 - 0.28	India	445	1580 - 2040
	0.55 - 0.7	Mexico	400 - 629	570 - 1100
Concentrador lineal Fresnel	0.5 - 0.56	Europa	650 - 900	1160 - 1800

Recientes investigaciones realizadas en Europa estiman una reducción en los costos de un 43% para el año 2020 y un costo de calor solar de 5-8 c€/kWh para los años 2016/2017 para sistemas convencionales que alcancen un 10-20% de fracción solar. Además, el estudio considera un costo de 400 €/kWh para sistemas de alta temperatura (< 250 °C). Para el año 2020, la hoja de ruta estima que los costos de sistemas convencionales serán de 250 €/kWth y 300 €/kWth para tecnologías solares de altas temperaturas[12]. Es muy importante entender que los precios de colectores de concentración solar en este momento incluyen costos de transporte de países lejos. También precios para campos solares pequeños (< 500 m²), para sistemas de prototipos son altos. De nuestro conocimiento del mercado precios actuales de 600-900 USD/kW_{th} puede ser factible por sistemas mas grandes.

7 Proveedores de Tecnologías solares térmicas

La siguiente tabla comprende alguno de los proveedores de tecnologías solares térmicas disponibles a nivel nacional. Solo los colectores de concentración sean internacional porque aún no existe ningún proveedor nacional.

7.1 Sistemas estacionarios




Colector solar plano	
Calder Solar	
	Modelo: Ecopanel 2.3 Área útil: 2.1 m ² Rendimiento nominal: 64% Coeficiente de pérdida de calor (a ₁): 3.549 W/m ² K Coeficiente de pérdida de calor (a ₂): 0.02567 W/m ² K ² Presión máxima de trabajo: 6 bar Temperatura de estagnación: 89.08 °C Fuente: http://www.calder.cl/calderecopanel.html
SunBelt	
	Modelo: Sunbelt 2,1 S Área útil: 1.89 m ² Rendimiento nominal: 80.6% Coeficiente de pérdida de calor (a ₁): 3.882 W/m ² K Coeficiente de pérdida de calor (a ₂): 0.009 W/m ² K ² Presión máxima de trabajo: 10 bar Temperatura de estagnación: 176 °C Fuente: http://sunbelt.cl/

En Chile también hay productos importados de otros países. Un buen idea del desempeño y de varias cualidades de colectores planos y tubos evacuados se busca en la base de datos SOLAR KEYMARK:




<http://www.estif.org/solarkeymarknew/>

<p>Termic</p> 	<p>Modelo: 120 ABL150 Área útil: 1.38 m² Rendimiento nominal: 72.5% Coeficiente de pérdida de calor (a₁): 3.509 W/m²K Coeficiente de pérdida de calor (a₂): 0.015 W/m²K² Presión máxima de trabajo: 10 bar Temperatura de estagnación: 176 °C Fuente: http://www.termic.cl/</p>
<p>Colectores de tubo evacuado</p>	
<p>Apricus</p> 	<p>Modelo: ETC-20 Área útil: 1.9 m² Max. Presión de operación: 8 bar Temperatura de estagnación: 227 °C Fuente: http://www.apricus.com/</p>
<p>Sunda</p> 	<p>Modelo: SEIDO10-20 Área útil: 2.2 m² Max. Presión de operación: 6 bar Temperatura de estagnación: 190 °C Fuente: http://www.sundasolar.com/</p>

7.2 Sistemas con seguimiento

Colectores cilindro parabólico	
NEP Solar	
	<p>Modelo: Polytrough 1200 Largo: 24 m Apertura: 1.2 m Rango de temperatura: 220 °C</p> <p>Fluido de trabajo: aceite térmico Reflector: cubierta de aluminio Fuente: http://www.nep-solar.com/</p>
NEP Solar	
	<p>Modelo: Polytrough 1800 Largo: 20 m Apertura: 1.845 m Rango de temperatura: 220 °C</p> <p>Fluido de trabajo: aceite térmico Reflector: cubierta de aluminio Fuente: : http://www.nep-solar.com/</p>
Solitem	
	<p>Modelo: PTC 1100 Largo: 2.5 m Apertura: 1.1 m Rango de temperatura: 100 – 200 °C Potencia Térmica: 1 – 1.5 kW Eficiencia óptica: 75% Coeficiente de pérdida de calor (a_1): 0.1123 W/m²K Coeficiente de pérdida de calor (a_2): 0.00128 W/m²K² Fluido de trabajo: agua, vapor, aceite térmico Reflector: cubierta de aluminio Fuente: http://www.solitem.de/</p>

<p>Inventive Power</p> 	<p>Modelo: Power Trough 110 Largo: 3 m Apertura: 1.1 m Rango de temperatura: 50– 200 °C Max. Presión de operación: 15 bar Potencia Térmica: 1.815 kW Eficiencia óptica: 60% Coeficiente de pérdida de calor (a_1): 2.756 W/m²K Coeficiente de pérdida de calor (a_2): 0.07 W/m²K² Fluido de trabajo: agua presurizada, agua/vapor Reflector: aluminio anodizado Fuente: http://www.inventivepower.com.mx</p>
<p>Trivelli Energia</p> 	<p>Modelo: SolarWing Evo Largo: 8.24 m Apertura: 1.2 m Max. temperatura: 250 °C Max. Presión de operación: 16 bar Potencia Térmica: 6 kW Eficiencia óptica: 70% Coeficiente de pérdida de calor (a_1): 0.7 W/m²K Fluido de trabajo: agua, agua/glicol, agua presurizada, vapor, aceite Fuente: http://www.seagroupe.com/</p>
<p>Solarlite</p> 	<p>Modelo: SL 4600 Largo: 6 m Apertura: 2.3 m Max. temperatura: 400°C Max. Presión de operación: 55 bar Eficiencia óptica: 75.7% Coeficiente de pérdida de calor (a_1): 0.0191 W/m²K Coeficiente de pérdida de calor (a_2): 0.00006 W/m²K Fluido de trabajo: agua presurizada (con o sin glicol) Fuente: http://solarlite-csp.com/</p>
<p>SkyFuel</p> 	<p>Modelo: SkyTrough Largo: 13.9 m Apertura: 6 m Rango de temperatura: 200 - 500°C Max. Presión de operación: 55 bar Eficiencia óptica: 77% Fluido de trabajo: aceite sintético Fuente: http://www.skyfuel.com/</p>

Concentradores lineales Fresnel	
Soltigua	Italia
	Modelo: FLT10v-48 Largo:49.68 m Ancho:8.05 m Temperatura de operación: 320 °C Presión de trabajo: 20 bar para agua caliente y 10 bar para aceite Fluido de trabajo: agua caliente (>220 °C) o aceite sintético Fuente: http://www.soltigua.com/
Industrial Solar	Alemania
	Modelo: LF-11 Largo:4.06 m Ancho:7.5 m Max. Temperatura de operación : 400 °C Presión de trabajo: 40 bar Fluido de trabajo: agua presurizada y aceite sintético o vapor Fuente: http://www.industrial-solar.de/
CSP-F	Italia
	Modelo: Luceth Largo:48.7 m Ancho:17 m Max. Temperatura de operación : 200 °C – 500 °C Thermal efficiency: 60% (at 250 °C) Fluido de trabajo: agua presurizada o vapor Fuente: http://www.cspfsolar.com/

CNIM	Francia
	<p>Modelo: SUNCNIM SSG Largo: 67 m Ancho: 18 m Max. Temperatura de operación : 250 °C + Presión de trabajo: <120 bar Fluido de trabajo: agua presurizada o vapor Fuente: https://www.suncnim.com/en/solar-steam-generator</p>

8 Conclusiones

Existe un gran mercado actual de tecnologías solares térmicas que permiten suplir distintos niveles de temperatura requeridos tanto por las industrias a nivel nacional como internacional. Las tecnologías solares térmicas presentan una oportunidad para que Chile reduzca su dependencia energética y el consumo de combustibles fósiles.

Nuestro país presenta una gran cantidad de energía demandada principalmente en el rubro residencial e industrial, 22% y 36% respectivamente. Esta demanda puede ser perfectamente suplida mediante la incorporación de tecnologías solares térmicas, ya que se encuentran dentro de los rangos de operación de las tecnologías disponibles. Además, para el sector residencial que existen métodos de financiamiento y subsidio que permiten reducir la inversión inicial que representa la incorporación de energía solar térmica.

Todas las tecnologías revisadas en el presente reporte se encuentran en disponibilidad para ser utilizadas en el mercado chileno. Es de esperar que la participación de la energía solar térmica en procesos industriales aumente, al igual que las metodologías de financiamiento y subsidio.

9 Referencias

- [1] SHC Task 49 Solar Heat Integration in Industrial Processes – 2013 Highlights, IEA/SHC Programme (2013). <http://task49.iea-shc.org/publications>.
- [2] IEA SHC-TASK 43. Process Heat Collectors. State of the Art within Task 33/IV. Werner Weiss, Matthias Rommel. <http://task33.iea-shc.org/publications>.
- [3] IEA SHC – TASK 49 Process Heat Collectors: State of the art and available medium temperature collectors. Pedro Horta. <http://task49.iea-shc.org/publications>.
- [4] IEA SHC – TASK 49 Process Heat Collectors: Reference Cases for Simulation (internal working document). A. Helmke, S. Hess, W. Platzer
- [5] Solar Heat for Industrial Processes (SHIP): State of the art in the Mediterranean region. Observatoire Méditerranéen de l’Energie. Lead author: Nicolas Cottret; contributing author: Emanuela Menichetti.
http://www.solarthermalworld.org/sites/gstec/files/story/2015-10-14/solar_heat_for_industrial_process_technical_report._state_of_the_art_in_the_mediterranean_region.pdf
- [6] Technology Roadmap: Solar Heating and Cooling. International Energy Agency. 2012. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/>
- [7] SHC 2016 - Solar Heat Worldwide: Markets and Contribution to the Energy Supply 2014. Franz Mauthner, Werner Weiss, Monika Spörk-Dür. <http://www.iea-shc.org/solar-heat-worldwide>
- [8] Estudio de Colectores Solares y Depósitos Acumuladores. Deuman. Octubre, 2014. <http://www.programasolar.cl/index.php/bibl-tecnica>
- [9] Potential of Solar Thermal in Europe. European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF). AEE – Institute for Sustainable Technologies. Vienna University of Technology. http://eeg.tuwien.ac.at/eeg.tuwien.ac.at_pages/publications/pdf/WER1.pdf
- [10] Solar heat for industrial process. Solar Heating and Cooling application factsheet. European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF). http://www.estif.org/fileadmin/estif/content/publications/downloads/UNEP_2015/factsheet_ship_v05.pdf
- [11] Solar Thermal Markets in Europe: Trends and Market Statistics 2014. European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF). June, 2015. http://www.estif.org/fileadmin/estif/content/market_data/downloads/2014_solar_thermal_markets_LR.pdf
- [12] Solar Heat for Industrial Processes: Technology Brief. International Renewable Energy Agency (IRENA). http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_ETSAP_Tech_Brief_E2_1_Solar_Heat_Industrial_2015.pdf

- [13] RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES. Volume 1: Power Sector Issue 2/5. Concentrating Solar Power. International Renewable Energy Agency (IRENA). https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE_Technologies_Cost_Analysis-CSP.pdf
- [14] Índice de precios de Sistemas Solares Térmicos Junio 2015. Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética en Chile. https://energypedia.info/images/1/15/%C3%8Dndice_de_precios_de_Sistemas_Solares_T%C3%A9rmicos.pdf
- [15] Sunmark. Sustainable Solar Solutions. <http://www.solartermico.cl/>
- [16] VDI 3988. Guideline “Solar thermal process heat”, to appear 2017
- [17] Home Energy Metering. <http://www.home-energy-metering.com/solar-thermal-energy.html>
- [18] Apricus Solar Hot Water. <http://www.apricus.com/>
- [19] M.A Sabiha, R. Saidur, S. Mekhilef, O. Mahian. Progress and latest developments of evacuated tube solar collectors. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 51 (2015), 1038-1054.
- [20] Energía Solar térmica en industria. AppSol. Aiguasol, consultoría energética, proyectos software, I+D+i, 2014. <http://appsol.cl/biblioteca/>
- [21] Balance Nacional de Energía 2015. Ministerio de Energía. <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/balance-de-energia/>
- [22] G. Faninger. The Potential of Solar Heat in the Future Energy System. IFF-University of Klagenfurt, Austria. <http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien868.pdf>
- [23] Industrial Solar. Renewables onsite. <http://www.industrial-solar.de/content/>
- [24] So-Pro Project. Intelligent Energy Europe. 2011.
- [25] Solar Server. Online Portal to Solar Energy. http://www.solarserver.com/solarmagazin/solar-report_0207_e.html
- [26] Termasolar. Termas Solares Luxsol. <http://www.termasolar.com/>

Fraunhofer Chile Research
Center for Solar Energy Technologies (CSET)
Centro de Innovación UC Anacleto Angelini, Piso 8
Av. Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago, Chile

www.fraunhofer.cl

Proyecto apoyado por:

