

---

# Desafíos en integración de energía solar a procesos industriales

Mercedes Ibarra

Seminario 'Tecnologías Solares para el Suministro de Calor en Procesos Industriales', Santiago, 7 diciembre 2018

---



# Center for Solar Energy Technology - CSET

## Objetivos y asociados

Innovación para alcanzar la implementación a gran escala de la energía solar en Chile para los principales sectores **industriales, comerciales y residenciales**

- **Subsidiario de FRAUNHOFER ISE / Freiburg**
- Basado en la infraestructura de Fraunhofer Chile Research Foundation
- **Co-Ejecutor:** Pontificia Universidad Católica de Chile
- Más de 60 persons en FCR & UC



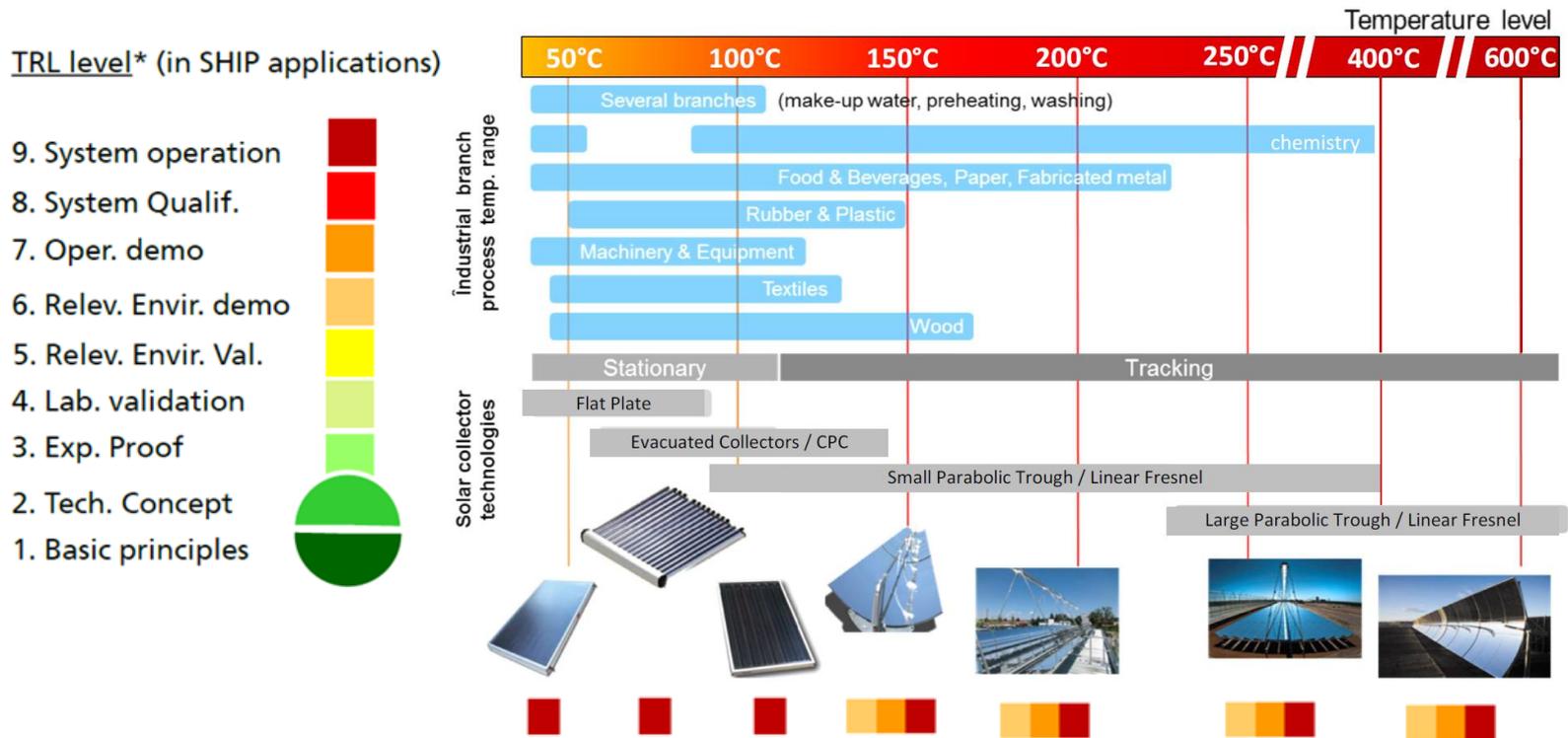
# Potencial de calor de procesos

## Contexto energético en Chile

Rubro	Consumo eléctrico anual (MWh)	Participación (%)	Consumo combustible anual (MWh)	Participación (%)
Alimentos y Bebidas	1.221.787	23,58%	8.064.017	25,12%
Textiles y Cuero	30.718	0,59%	1.435.316	4,47%
Madera y Papel	1.475.431	28,47%	10.676.017	33,26%
Químicos y Farmacéuticos	913.930	17,64%	2.903.903	9,04%
Caucho y Plástico	325.332	6,28%	940.920	2,93%
Minerales no Metálicos	409.119	7,90%	2.568.950	8,00%
Total	4.376.318	100%	32.096.655	100%

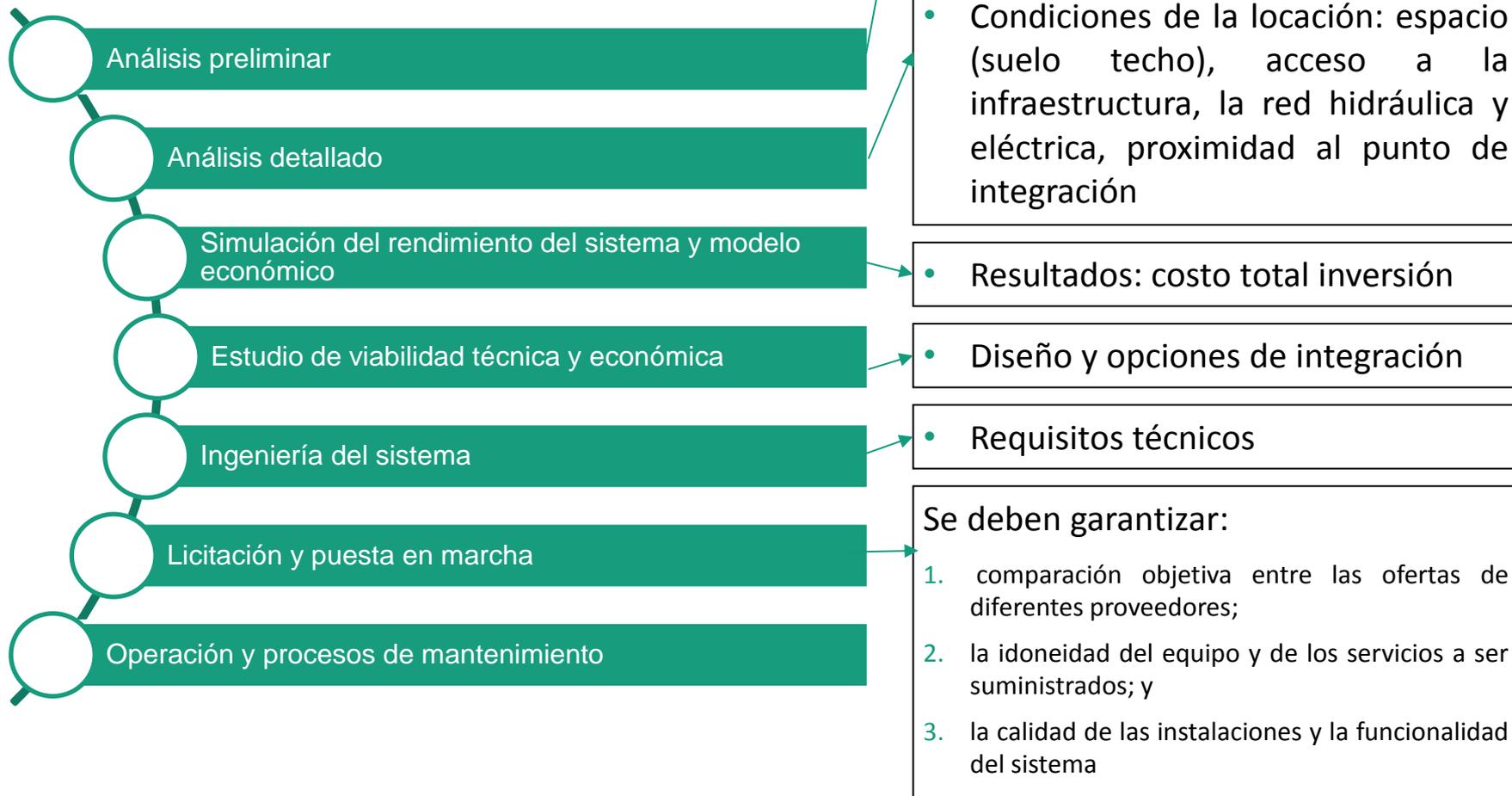
# Tecnologías solares térmicas

## Calor solar para procesos industriales



# Tecnologías solares térmicas

## Desarrollo de proyectos SHIP



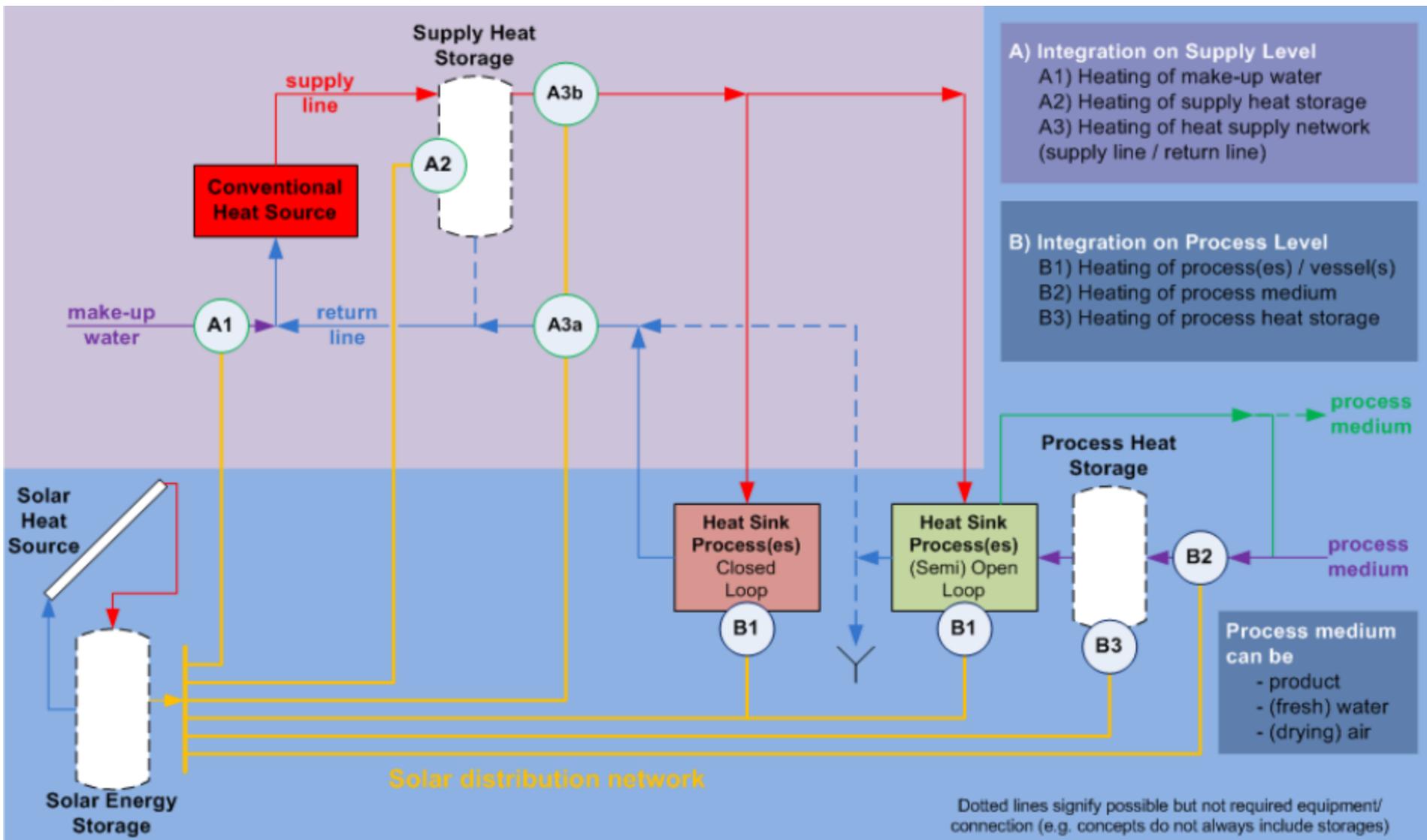
# Tecnologías solares térmicas

## Consideraciones para la elección de tecnología

- La temperatura de operación típica del captador se adapta a los requerimientos de demanda de calor industrial
- El diseño es apto para el fluido de trabajo elegido
- Certificaciones según normas nacionales o internacionales como: Solar KEYMARK (Europa), Solar Rating & Certification Cooperation, SRCC (EE.UU)
- Rendimiento energético certificado por una tercera parte acreditada
- Suficiente resistencia a la presión
- Manejo adecuado del estancamiento y prevención del sobrecalentamiento
- Peso adecuado para la instalación sobre tejado o tamaño apropiado para instalación sobre suelo
- **Opciones de integración**

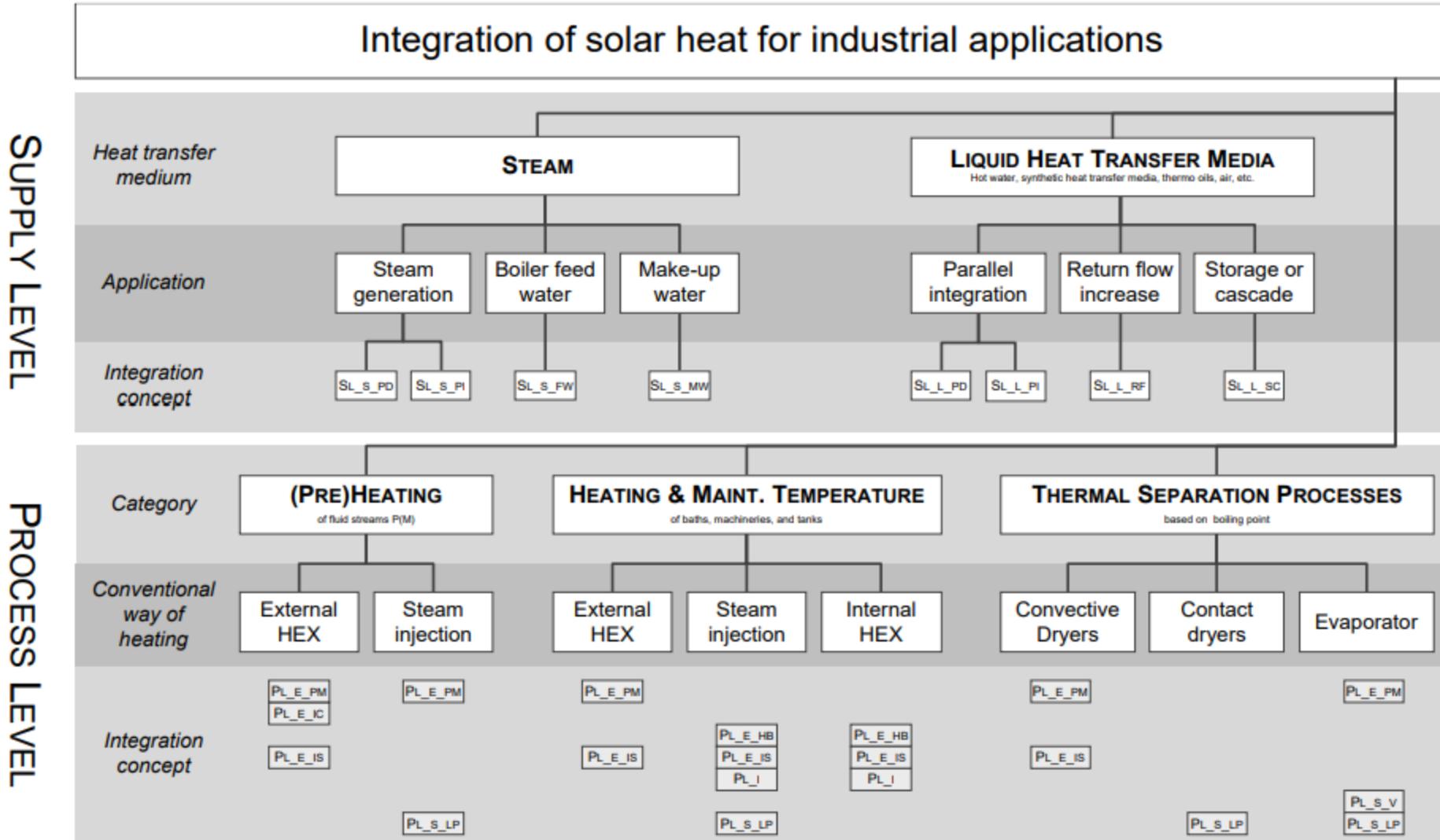
# Tecnologías solares térmicas

## Opciones de integración



# Tecnologías solares térmicas

## Opciones de integración

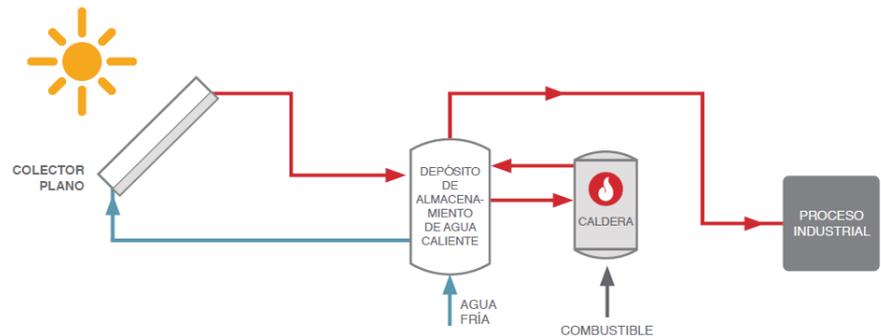


# Tecnologías térmicas solares

## Integración de la energía solar

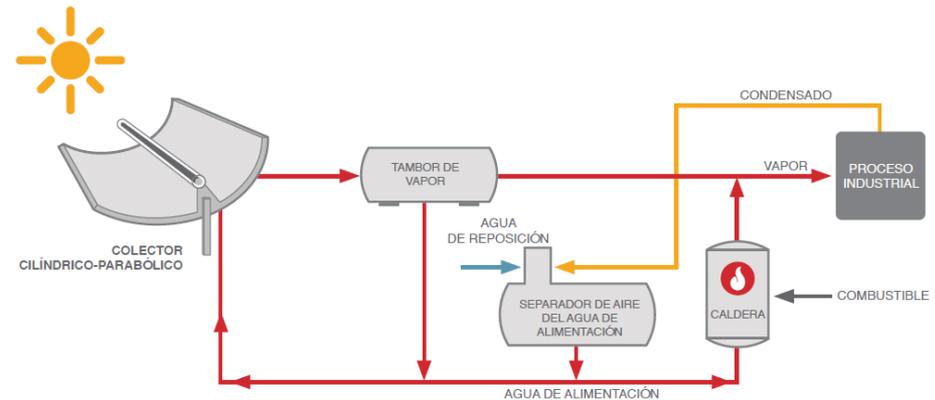
### ■ Precalentamiento

El agua fría se precalienta en el campo solar y se introduce en un depósito de almacenamiento donde se calienta mediante una caldera de combustible fósil a la temperatura requerida por el proceso de producción



### ■ Generación de vapor (directa)

El agua se evapora parcialmente en los colectores concentradores. El vapor calentado mediante energía solar se separa del agua restante dentro del tambor de vapor antes de ser enviado al proceso industrial o a la red de vapor de la industria. El condensado se envía nuevamente al campo de colectores.

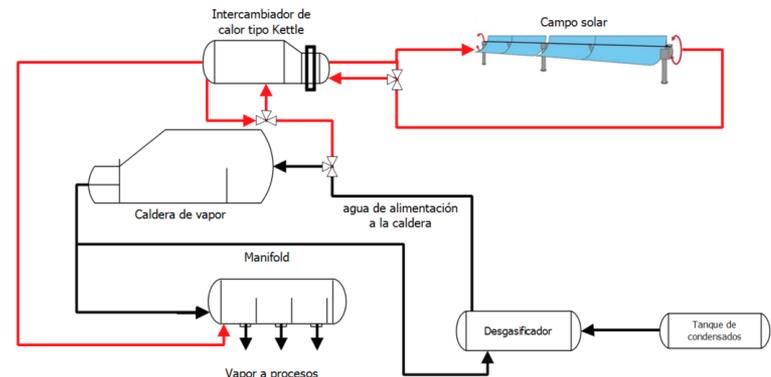


# Tecnologías térmicas solares

## Integración de la energía solar

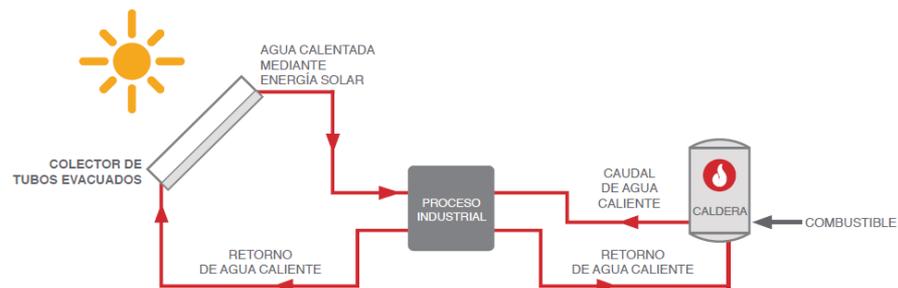
### Generación de vapor (indirecta)

El agua se evapora en un HEX agua/HTF. El vapor calentado se calienta mediante una caldera de combustible fósil a la temperatura del procesos de producción requerida si es necesario antes de ser enviado al proceso industrial o a la red de vapor de la industria. El condensado se envía nuevamente al campo de colectores.



### Calentamiento de procesos

El campo solar proporciona calor a una determinada temperatura para mantener la temperatura de un baño o un proceso de separación térmica. Se suministra calor adicional al proceso de producción mediante una caldera de combustible convencional. Ambos circuitos están cerrados de manera que el agua enfriada vuelve al campo de colectores o a la caldera, respetivamente.



# Tecnologías solares térmicas

## Integración de calor solar

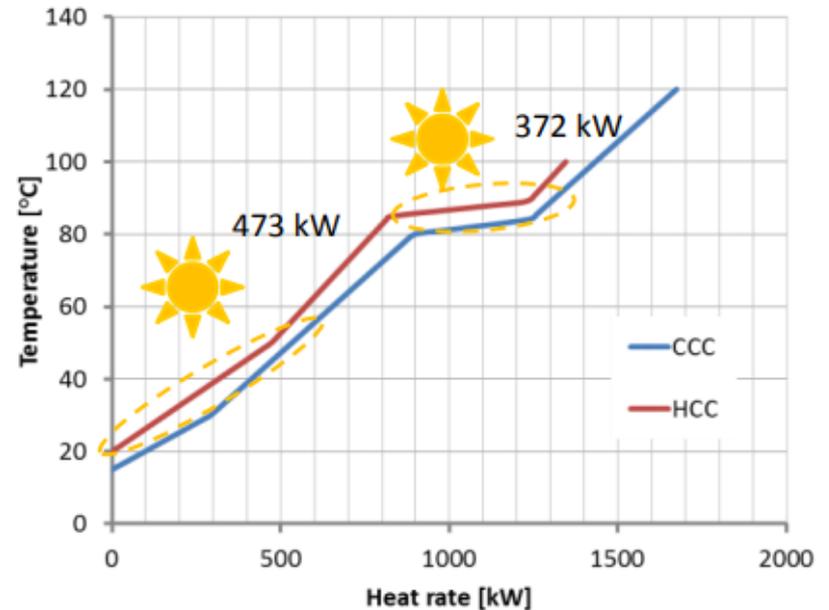
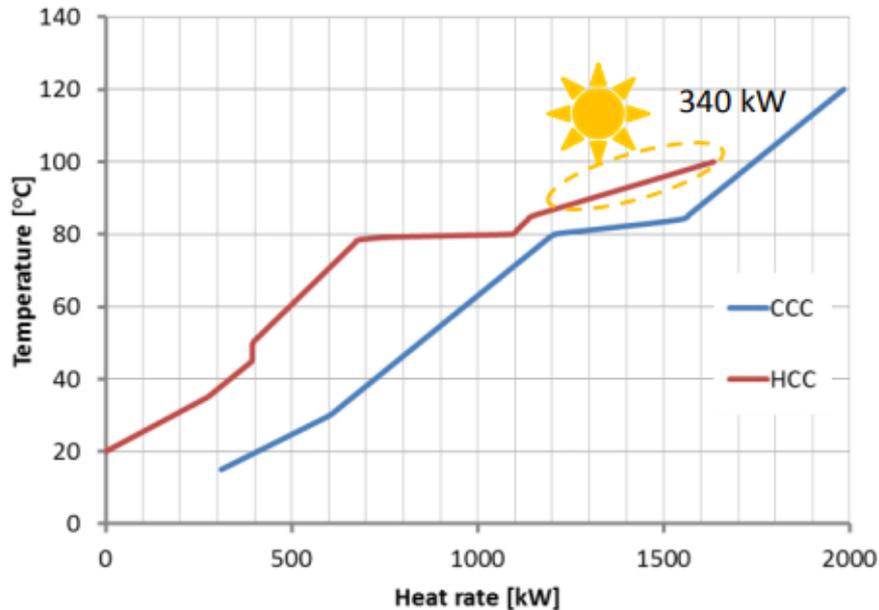
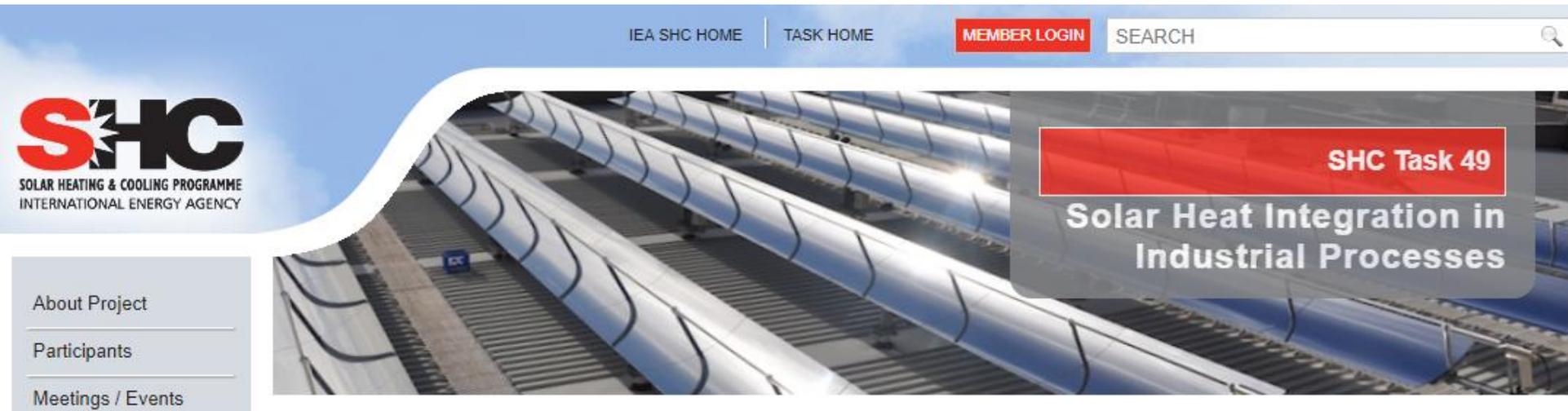


Figure 5-6: CCs including solar heat as hot utility stream (selected and sized with the GCCs from Figure 4-4);  $\Delta T_{\min} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Left: 340 kW of solar heat 85/100 °C) added to the hot CC results in a 340 kW decrease of hot utility. Right: Solar heat can be integrated on different temperature levels.

# Tecnologías solares térmicas

## Opciones de integración



The image is a screenshot of the SHC Task 49 website. At the top, there is a navigation bar with links for 'IEA SHC HOME', 'TASK HOME', 'MEMBER LOGIN', and a 'SEARCH' box. On the left side, the SHC logo is displayed, which stands for 'SOLAR HEATING & COOLING PROGRAMME INTERNATIONAL ENERGY AGENCY'. Below the logo, there are three menu items: 'About Project', 'Participants', and 'Meetings / Events'. The main content area features a large photograph of solar collectors on a roof. Overlaid on this image is a red banner with the text 'SHC Task 49' and a grey box with the text 'Solar Heat Integration in Industrial Processes'.

<http://task49.iea-shc.org/>

# Caso de estudio

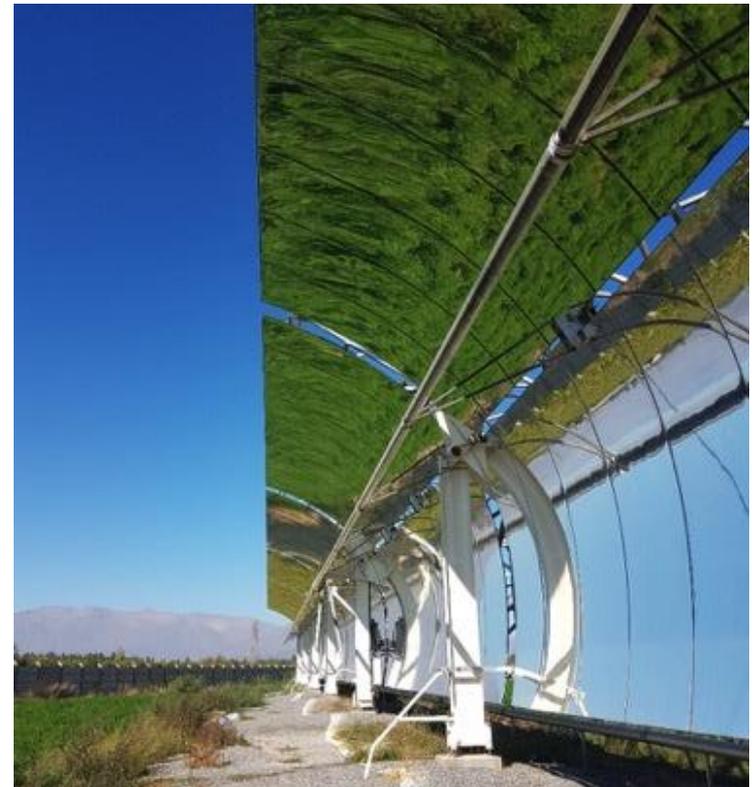
## Integración energía solar en concentración de jugo

Empresa de concentración de jugo de uva

PTC (120°C, 690 m<sup>2</sup>) localizado en San Felipe

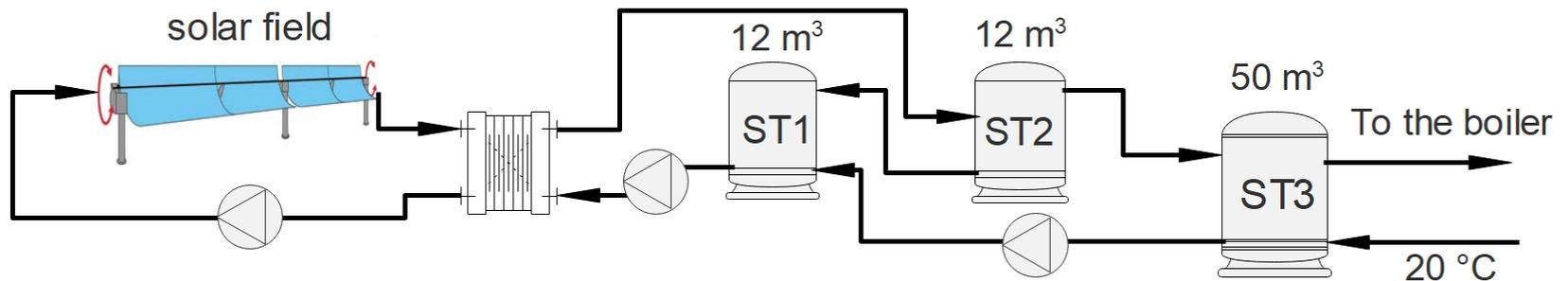
Varios trabajos:

- Revisión del contrato de energía
- Apoyo en simulaciones y mejoras en la operación del campo solar
- Optimización de la integración del sistema solar con el proceso
  - Análisis de la situación energética actual
  - Descripción de la evaluación técnico-económica de las medidas identificadas
    - Nivel de suministro
    - Nivel de proceso
    - Eficiencia energética
  - Evaluación operacional



# Caso de estudio

## Integración energía solar en concentración de jugo



# Caso de estudio

## Análisis de la situación energética actual

Campaña experimental

3 meses

Consumos:

- Gas
- Electricidad

Monitoreo en proceso de concentración

Monitoreo en proceso de pasteurización

Monitoreo en campo solar

Monitoreo en estanques de almacenamiento y condensados

Monitoreo en caldera de vapor

Monitoreo en intercambio de calor

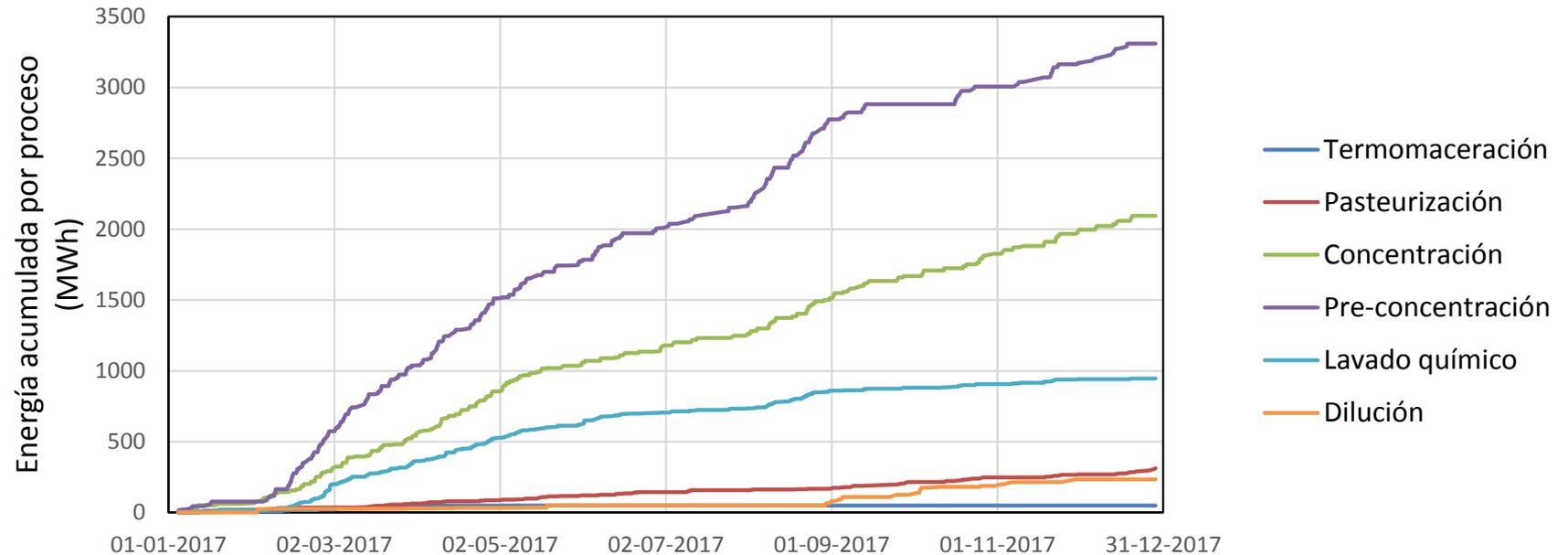


CONSUMO DE GAS PLANTA SAN FELIPE 2017

Fecha	Orden de Trabajo	Proceso	Hora	
			Inicio	Final
04-01-2017	11125	LAVADO QUIMICO(inicio-final)-PRECONCENTRADO	13:15:00	15:20:00
05-01-2017	11125	PRECONCENTRADO BLANCO(final)-cambio de	15:20:00	19:40:00
06-01-2017	11134	LAVADO QUIMICO(inicio-final)-CONCENTRADO	8:50:00	11:20:00
06-01-2017		DESCARGA CAMIÓN GAS (inicio-final)	12:11:00	12:44:00
06-01-2017	11134	CONCENTRADO BLANCO (final)		17:40:00
07-01-2017		TERMOMACERADOR	8:40:00	11:30:00
09-01-2017	11144	PRECONCENTRADO BLANCO (inicio)-SALA EN	9:50:00	14:30:00
09-01-2017	11144	PRECONCENTRADO BLANCO(cambio cuba)-	16:02:00	19:50:00
09-01-2017	11144	PRECONCENTRADO BLANCO(final)-LAVADO C	21:20:00	22:30:00

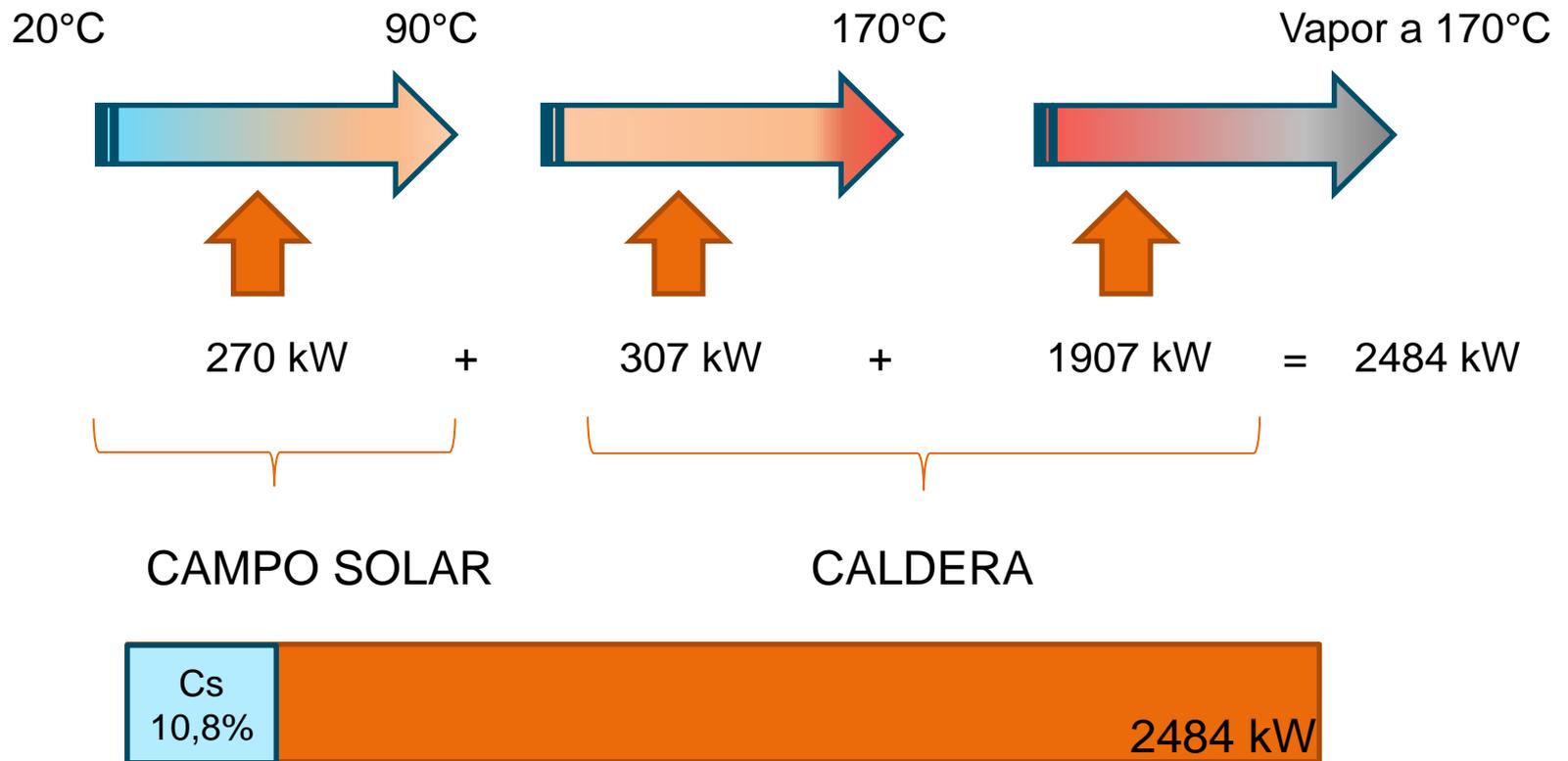
# Caso de estudio

## Análisis de la situación energética actual



# Caso de estudio

## Análisis de la situación energética actual

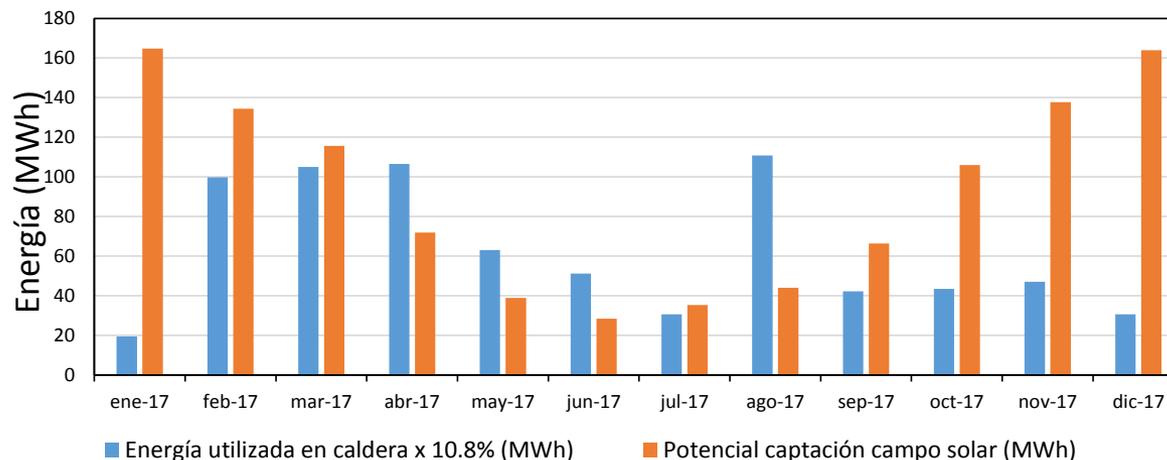


# Caso de estudio

## Análisis de la situación energética actual

Energía consumida caldera 2017 ( $E_{c2017}$ ) = 6900 MWh

Energía teórica campo solar 2017 ( $E_{S2017, teo}$ ) = 10.8% \* ( $E_{c2017}$ ) = 745 MWh



Energía del campo solar a caldera, simulación 2017 ( $E_{S2017, sim}$ ) = 452 MWh  
(análisis minutal y demanda real del año 2017)

Energía campo solar real 2017 ( $E_{S2017, real}$ ) = 242 MWh

Energía campo solar a caldera real 2017 ( $E_{S2017,C}$ ) = 205 MWh  $\rightarrow$  45%  $E_{S2017, sim}$

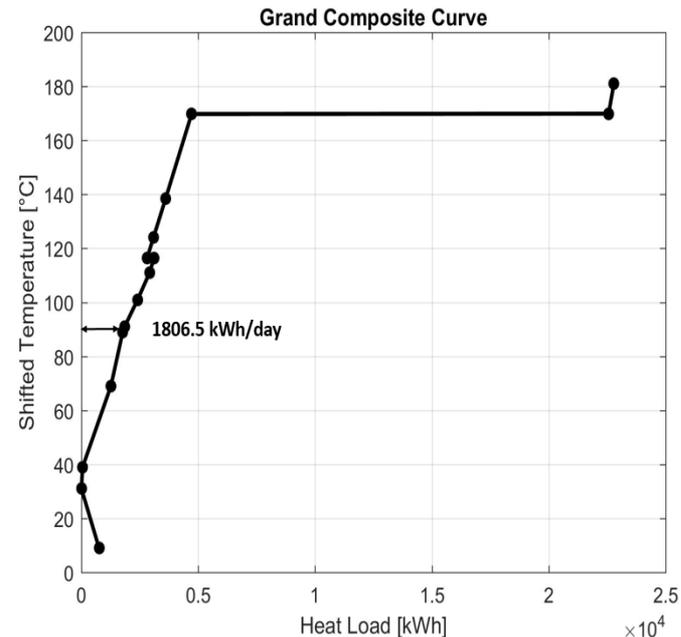
# Caso de estudio

## Máxima integración solar posible- Pinch Analysis

Pinch Analysis (PA):

- $\Delta T_{min}=22^{\circ}\text{C}$
- 1.806,5 kWh/día es el máximo potencial de integración de energía solar térmica a la temperatura de  $90^{\circ}\text{C} \rightarrow 565,17 \text{ MWh}$

Proceso	Tiempo de operación por día (horas)
Concentración	2.67
Pre-concentración	4.23
Lavado químico	1.21
Dilución	1.81
Pasteurización	0.3



GCC de las corrientes de proceso para un  $\Delta T_{min}$  de  $22^{\circ}\text{C}$

# Caso de estudio

## Máxima integración posible- alternativas estudiadas

	Descripción	Energía solar a proceso (MWh/year)	Energía solar a pasteurización (MWh/year)	Incremento integración solar (%)	Eficiencia proceso (%):	Eficiencia colector (%)
Caso base 2017	Este caso consiste en la actual configuración del sistema solar.	452.2	-	referencia	0,71	0,35
Alternativa 1	Solape de días productivos con días soleados (demand optimization).	470	-	4	0,72	0,36
Alternativa 2 (sin optimización de demanda)	Temperatura máxima de operación del colector elevada a 140 °C.	510	-	13	0,72	0,39
Alternativa 2 (con optimización de demanda)		528	-	17	0,73	0,40
Alternative 3 (sin optimización de demanda)	Integración a nivel de procesos (pasteurización), temperatura máxima del colector: 140 °C.	542	28	20	0,74	0,42

# Caso de estudio

## Estudio paramétrico

Nombre variable	Flujo del colector (m <sup>3</sup> /h)	Tamaño del HEX(m <sup>2</sup> )	Volumen del tanque 3 (m <sup>3</sup> )
valor	10,16, 22, 28	3, 6	50, 100

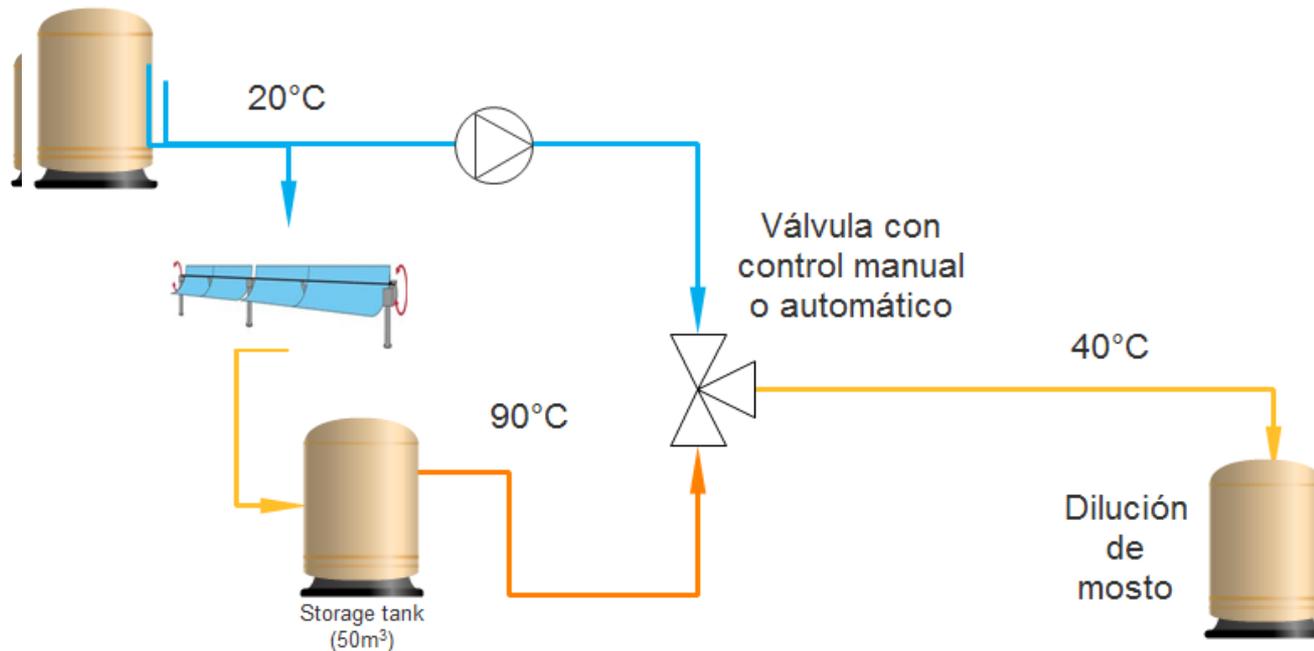
- Valor máximo de integración: 28 m<sup>3</sup>/h, HEX area of 6 m<sup>2</sup> y 100 m<sup>3</sup> → 548 MWh (80 °C). Por tanto, el valor identificado en el PA a 90 °C no se alcanza.
- Aumento del tamaño del tanque 3 (50 a 100 m<sup>3</sup>) y el caudal (22.000 a 28.000 → 0.5 %.
- Aumento del tamaño del HEX →3.5%.
- La fracción solar es baja porque no hay una operación óptima del campo solar y del almacenamiento, ensuciamiento, falta de control del sistema, bajas temperaturas de operación.
- Dificultad de aumentar la fracción solar por una integración no óptima (control colector – tanques)

# Caso de estudio

## Integración a proceso: dilución

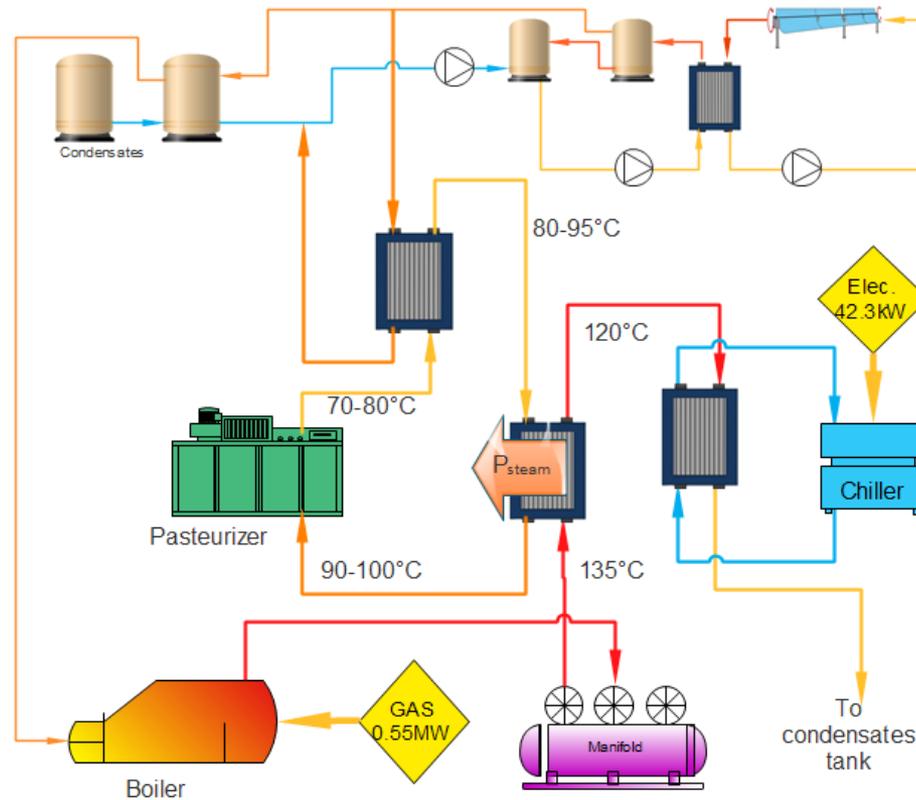
- Conf. actual  $\rightarrow$  234 MWh/año

- Conf. propuesta  $\rightarrow$  7 MWh/año



# Caso de estudio

## Integración a proceso: pasteurización



# Caso de estudio

## Resumen alternativas

Medida	Inversión (USD \$)	Ahorros por año (USD \$)	Periodo de amortización simple (años)	Periodo de amortización con valores descontados (años)
<b>Todas las medidas</b>	<b>\$ 210,874</b>	<b>\$ 77,077</b>	<b>3.3</b>	<b>4.2</b>
Aumento temperatura de operación	\$ 12,043	\$ 19,538	0.7	0.7
Integración a dilución	\$ 35,229	\$ 17,385	2.3	2.5
Integración a pasteurización	\$ 68,560	\$ 13,846	5.8	6.9
EE en equipo concentrador	\$ 95,043	\$ 26,308	3.9	4.4

# Brechas identificadas en Chile

Brechas y posibles soluciones	
Técnicas	Desconocimiento en el diseño y la operación de instalaciones solares térmicas: Dimensionamiento (capacidad y temperatura) e integración en el punto óptimo
	Desconfianza ante la integración de nuevas tecnologías solares térmicas, especialmente a nivel de procesos.
	Gran número de aplicaciones y tecnología → dificulta desarrollo del mercado y la transferencia de know-how de las soluciones identificadas
	Restricciones área disponible → integración en edificios
Financieras	Financiación: las empresas esperar Payback muy bajos (<5 años) y IRR (>40%)
	Gran inversión inicial + falta de líneas de financiamiento y apoyo para el sector industrial → Modelos novedosos de financiación (ESCO)
	Bajos costos de los combustibles fósiles → Medidas de aumento de precios (impuesto al carbón) o cuotas renovables

# Integración solar a procesos

## Conclusiones

- La integración solar a procesos es un aspecto fundamental de la etapa de diseño de los sistemas.
- Existen diferentes esquemas de integración, que serán adecuados en diferentes casos
- La determinación de la integración adecuada requiere conocimiento de los procesos industriales y dinámicas de operación
- El diseño debe hacerse en conjunto con la industria para asegurar la correcta integración en el flujo de trabajo
- La operación y el mantenimiento del sistema es fundamental.

# Agradecimientos



Proyecto apoyado por



## For a Solar Future of Chile

### Contact:

**Mercedes Ibarra**  
mercedes.ibarra@fraunhofer.cl

