



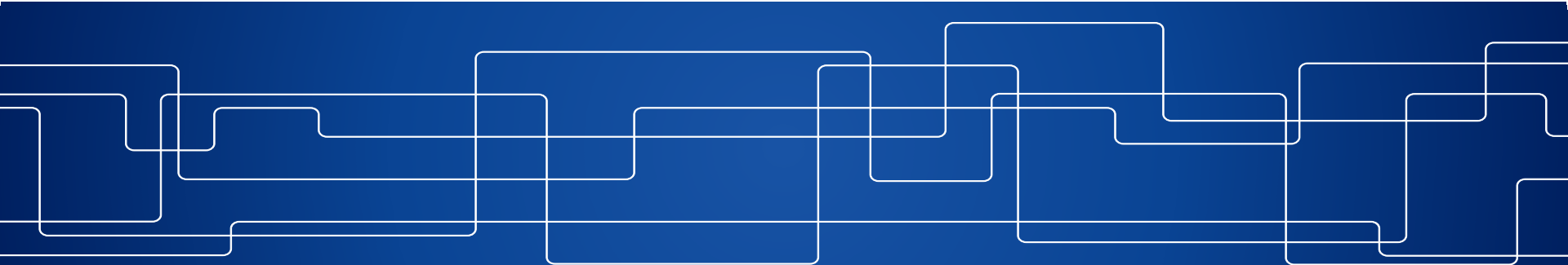
KTH Industrial Engineering  
and Management

# CSP en Procesos Industriales

Ventajas, Desafíos y Experiencias

*Dr. Rafael Guédez*

*7 Diciembre, 2018*





# Instituto Real de Tecnología (KTH)



- *Fundada en 1827*
- *+12000 estudiantes*
- *8 Escuelas*
- *World Rankings:*
  - *36 (Times - Engineering 2017)*
  - *25 (QS Top Universities – Energy Engineering 2016)*



# Instituto Real de Tecnología (KTH)



- *Fundada en 1827*
- *+12000 estudiantes*
- *8 Escuelas*
- *World Rankings:*
  - *36 (Times - Engineering 2017)*
  - *25 (QS Top Universities – Energy Engineering 2016)*

# KTH – Grupo Solar I+D

Investigación aplicada a la industria para mayor competitividad

Concentrating Solar Power (CSP)

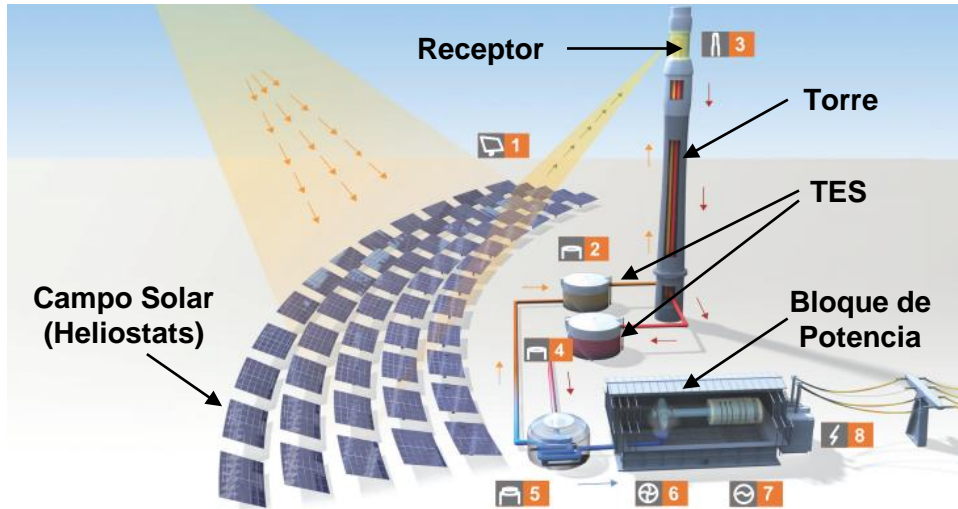


Solar Photovoltaic (PV)





# CSP – Principios Básicos

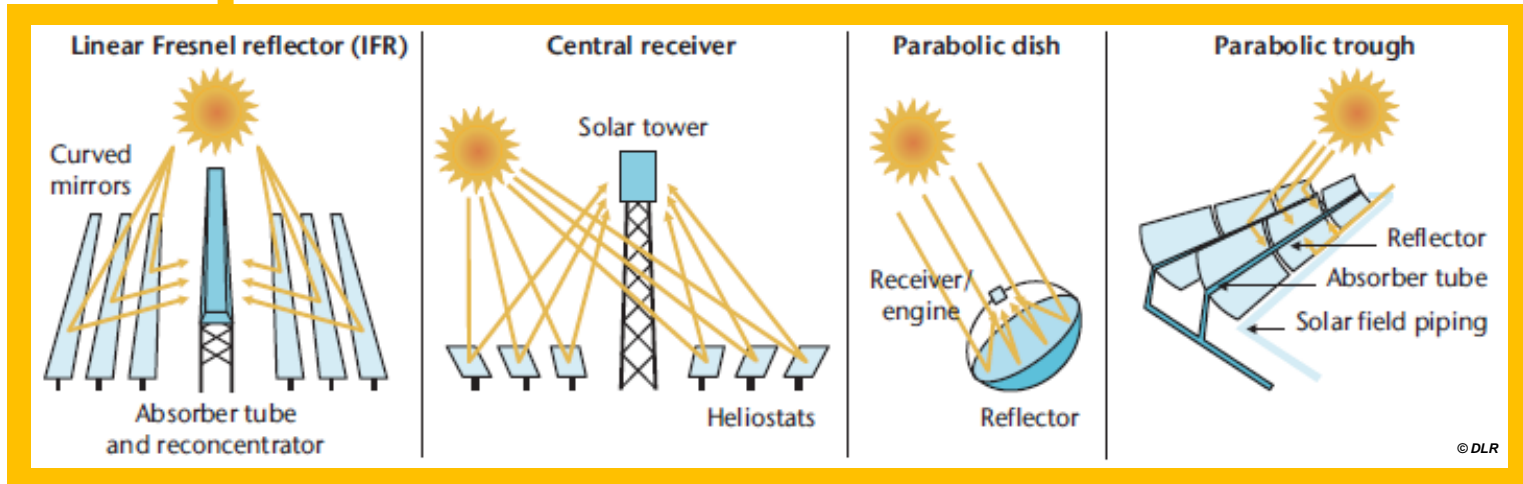


© Torresol Energy

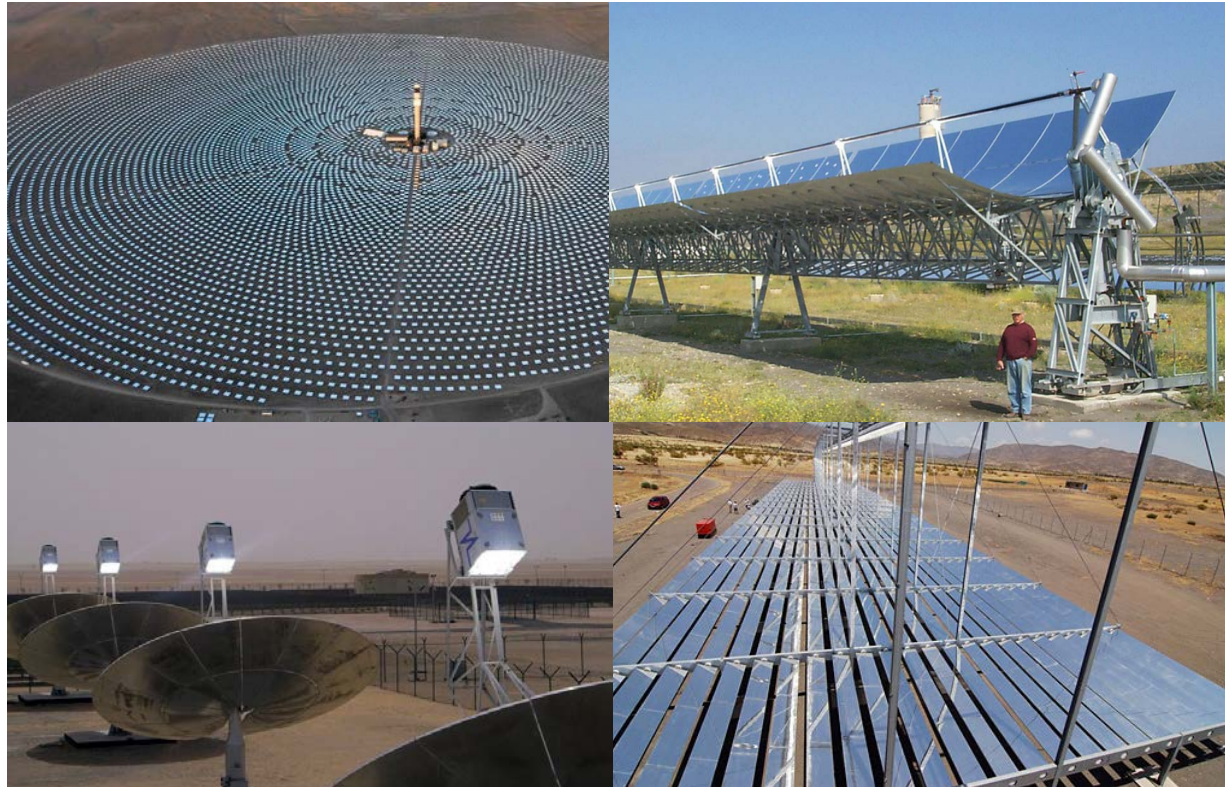


**3 Bloques Principales: Campo Solar, Almacenamiento-HTF, Bloque de Potencia**

# CSP – Principios Básicos



# CSP - Tecnologías





# Plantas Cilíndro-Parabólico (Parabolic Trough)

Solana 280 MW<sub>e</sub>  
Arizona, USA – 2013

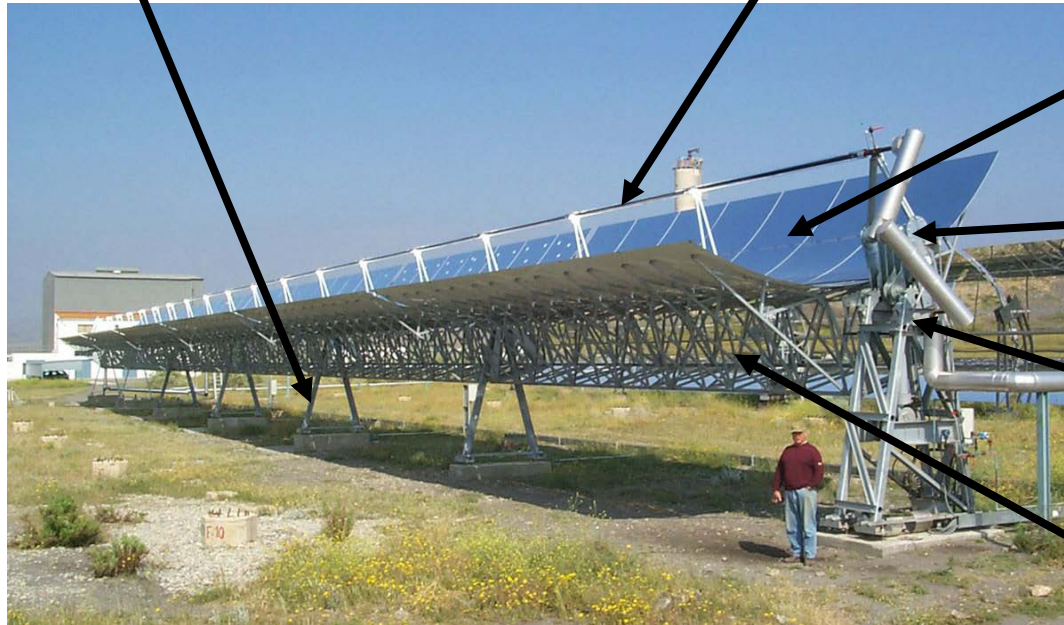




# Colector Cilíndro-Parabólico

Intermediate Pillar

Absorber Tube / Heat Collection Element (HCE)



Parabolic Mirror /  
Trough Collector

Flexible Joint

Drive Pillar

Support Structure

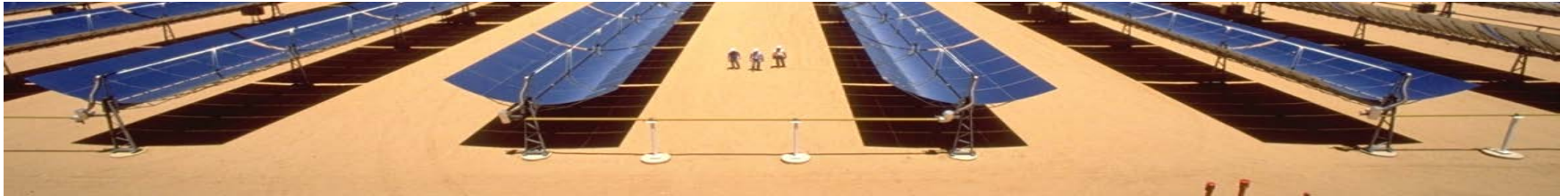
# Colector Cilindro-Parabólico

***El desempeño óptico de un colector está comprometido por varios factores:***

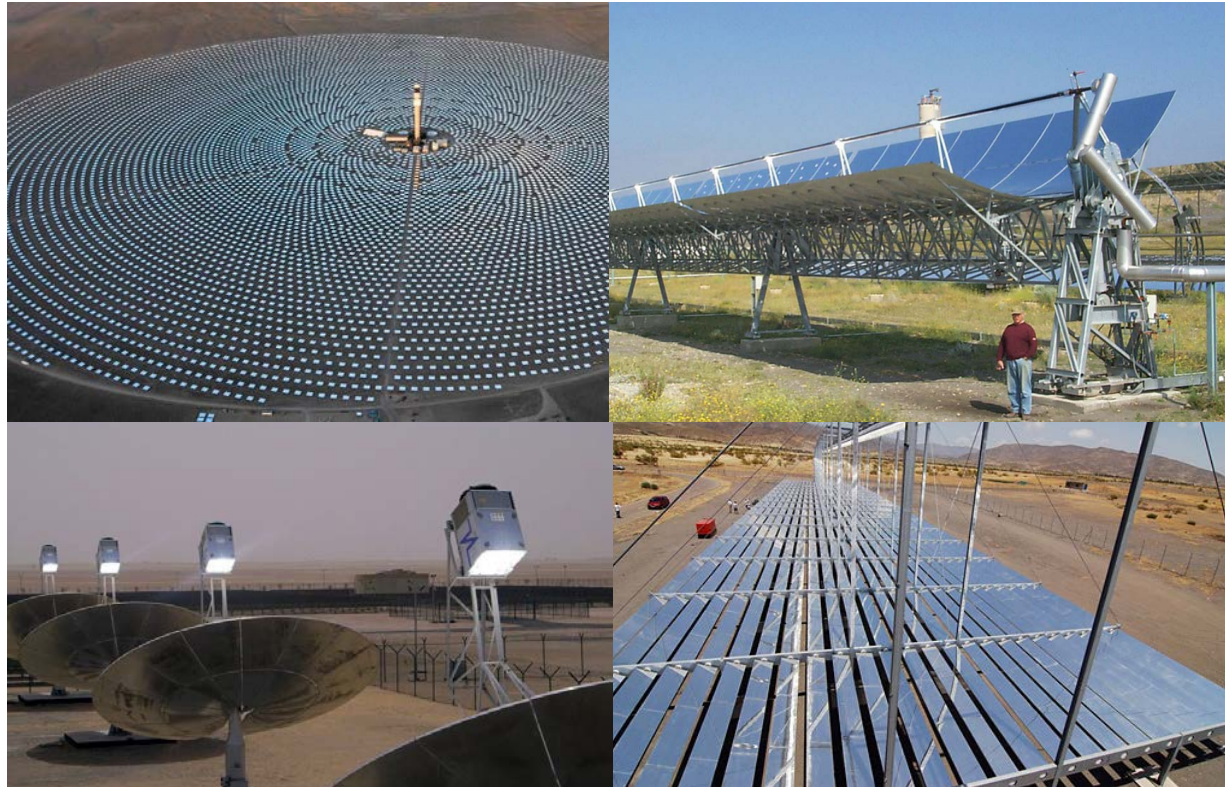
$$\dot{Q}_{SCA}^+ = A_{SCA} I_o \cdot \varepsilon_{surf} \varepsilon_{cos} \cdot IAM \cdot (1 - f_{shd}) (1 - f_{end})$$

$Q_{SCA}$ : thermal power [W]  
 $A_{SCA}$ : SCA aperture area [m<sup>2</sup>]  
 $I_o$ : incident beam radiation [W/m<sup>2</sup>]  
 $\varepsilon_{surf}$ : surface effectiveness [-]

$\varepsilon_{cos}$ : cosine effectiveness [-]  
 $f_{shd}$ : shadowing factor [-]  
 IAM: incidence angle modifier [-]  
 $f_{end}$ : end-loss factor [-]



# Tecnologías CSP

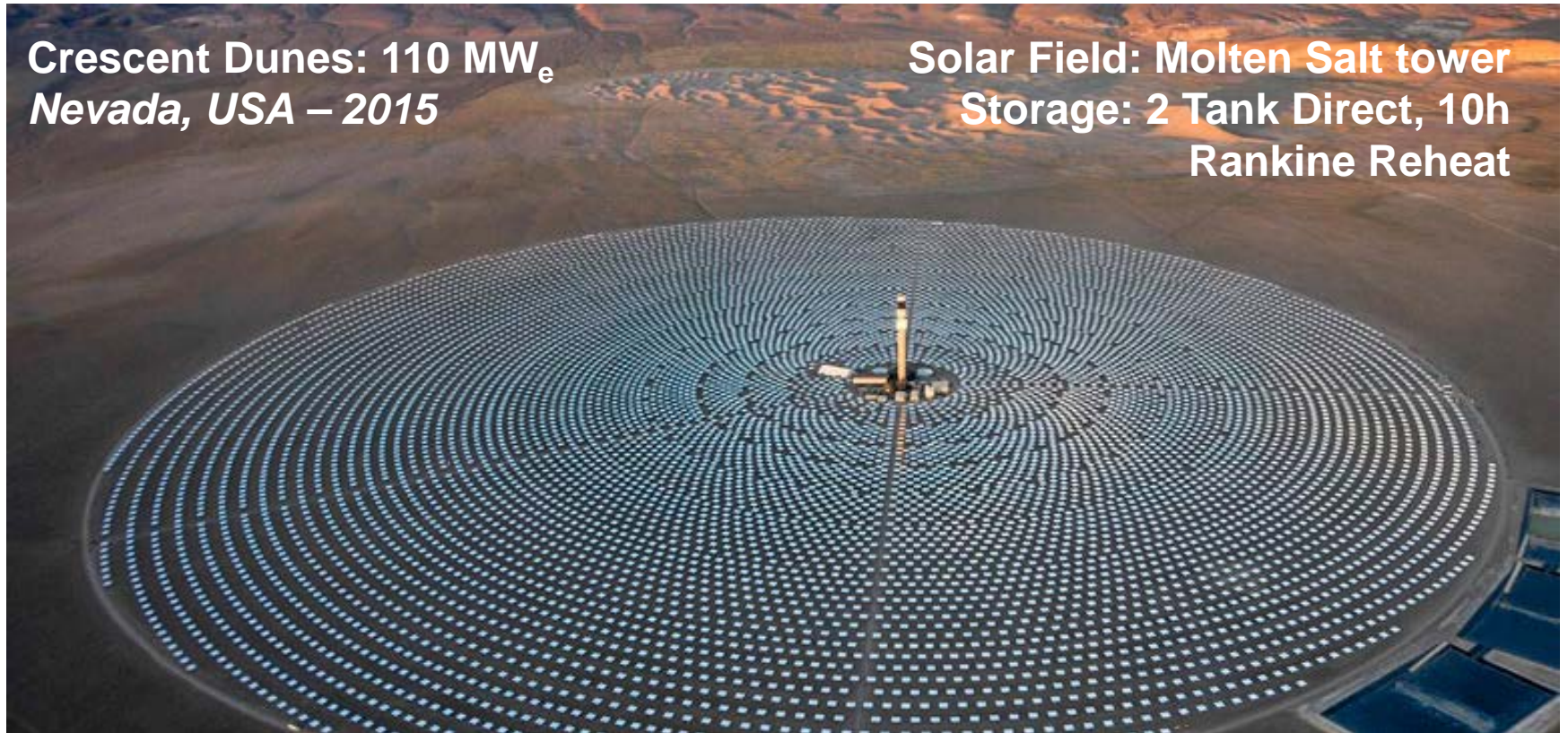






**Crescent Dunes: 110 MW<sub>e</sub>**  
*Nevada, USA – 2015*

**Solar Field: Molten Salt tower**  
**Storage: 2 Tank Direct, 10h**  
**Rankine Reheat**





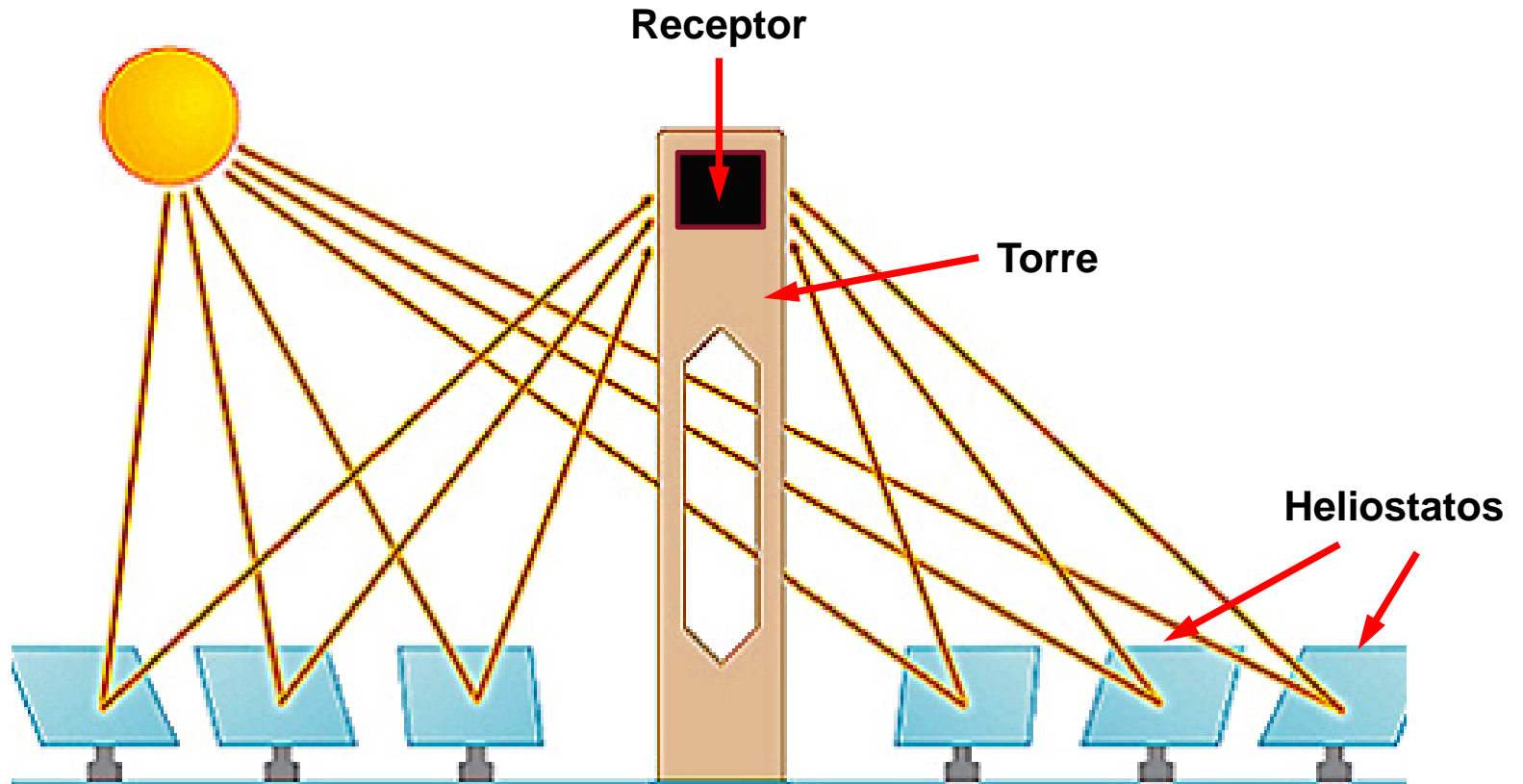
# Torre Solar



# Torre Solar



# Torre Solar

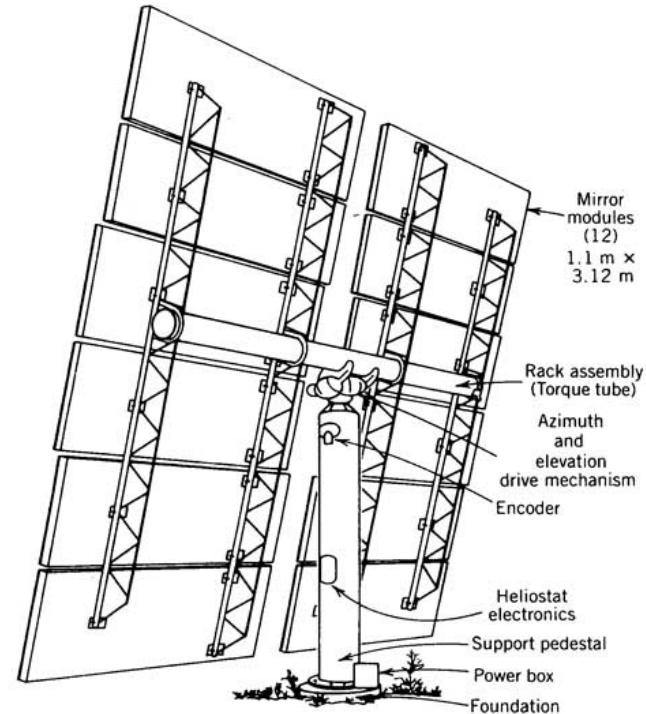


# Torre Solar: Heliostatos

**Heliostato:** estructura de espejos con doble eje de seguimiento

Requerimientos:

- Alta *reflectividad*
- Alta *precisión óptica*
- Alta *precisión de control y seguimiento*
- Alta *durabilidad (estructura resistente)*

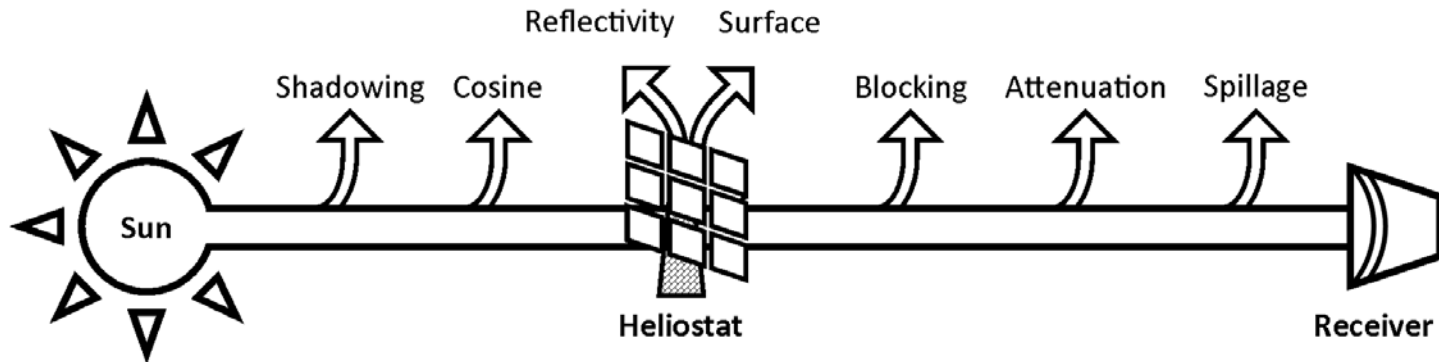




# Torre Solar: Heliostatos

$$\dot{Q}_h^+ = A_h I_o \cdot \epsilon_{surf} \epsilon_{cos} \cdot (1 - f_{shad}) (1 - f_{block}) (1 - f_{att}) (1 - f_{spill})$$

- |                     |   |                    |                          |
|---------------------|---|--------------------|--------------------------|
| $Q_h$ :             | thermal power [W]                           | $\epsilon_{cos}$ : | cosine effectiveness [-] |
| $A_h$ :             | heliostat surface area [m <sup>2</sup> ]    | $f_{shad}$ :       | shadowing factor [-]     |
| $\rho_h$ :          | mirror reflectivity [-]                     | $f_{block}$ :      | blocking factor [-]      |
| $I_o$ :             | incident beam radiation [W/m <sup>2</sup> ] | $f_{att}$ :        | attenuation factor [-]   |
| $\epsilon_{surf}$ : | surface effectiveness [-]                   | $f_{spill}$ :      | spillage factor [-]      |

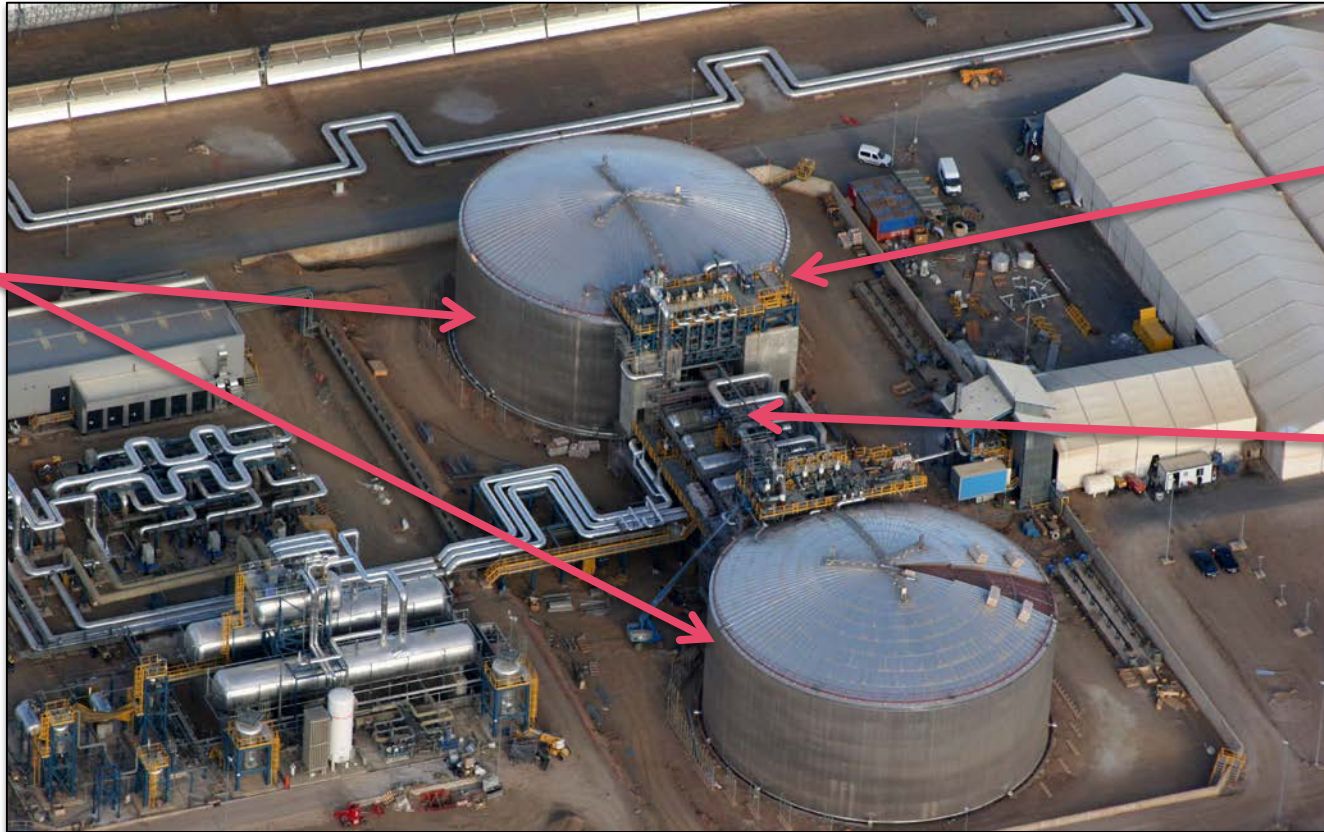


# Torre Solar: Receptores



# Almacenamiento Térmico (TES)

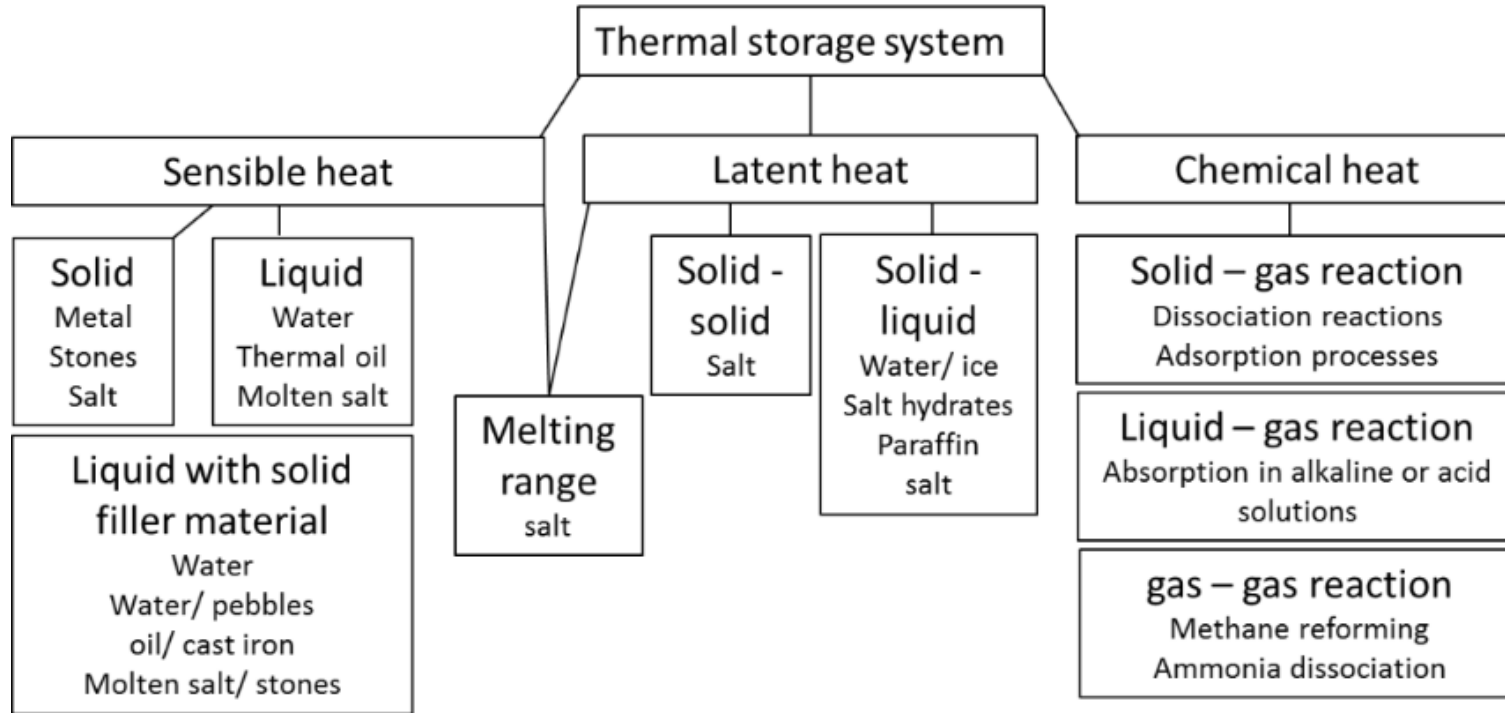
Tanks



Salt  
Pumps

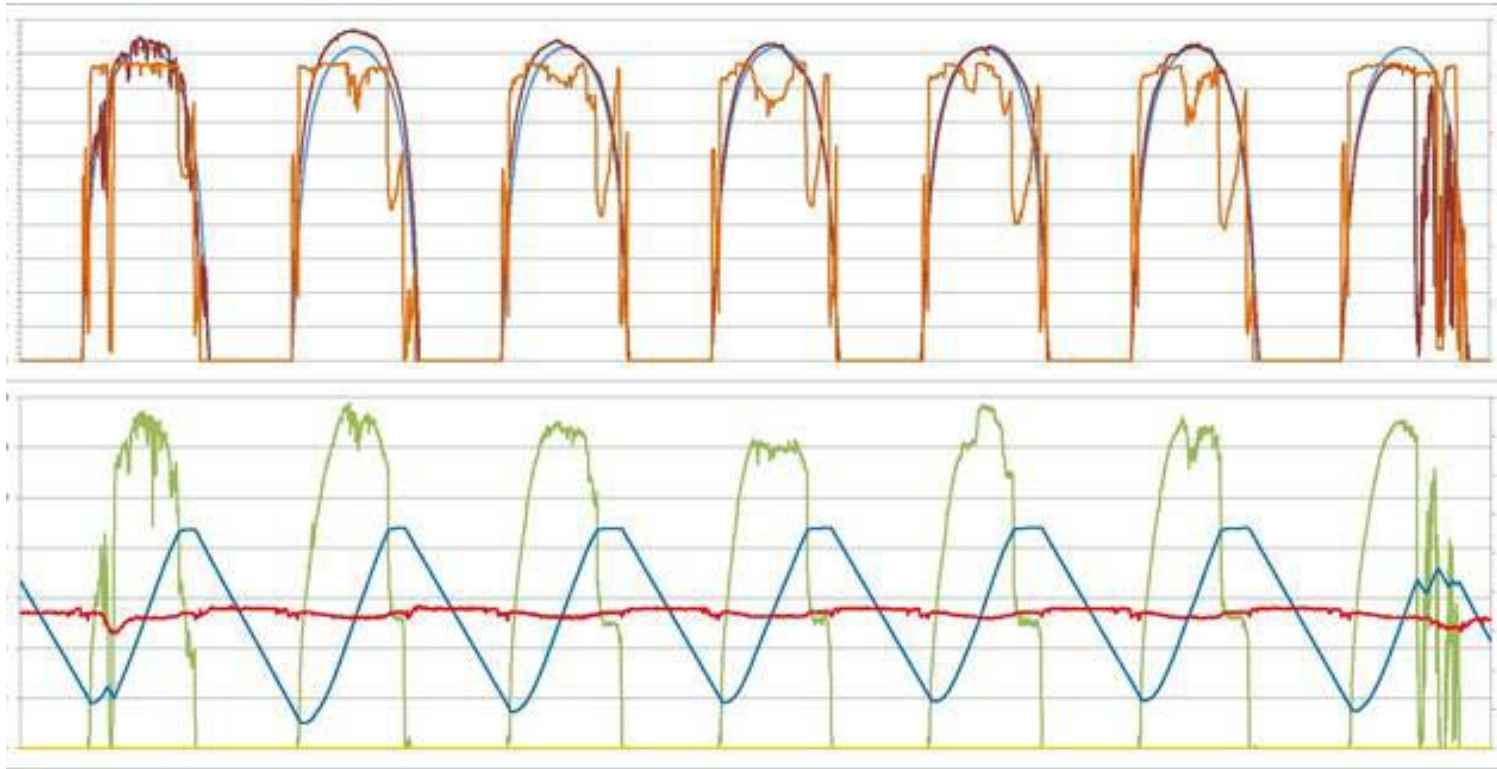
HTF-Salt  
Heat  
exchangers

# Almacenamiento Térmico (TES)

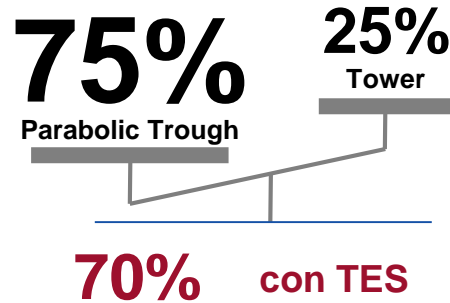




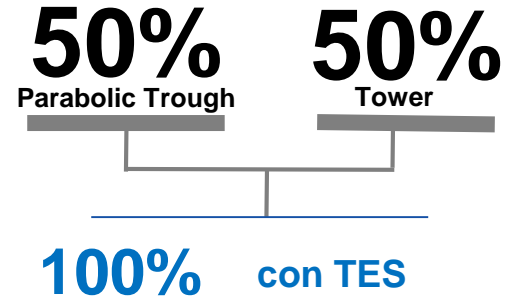
# Torre Solar+TES: Operación Real



# Mercado de CSP (Q2 2018)



Spain 2.4 GW - USA 1.9 GW



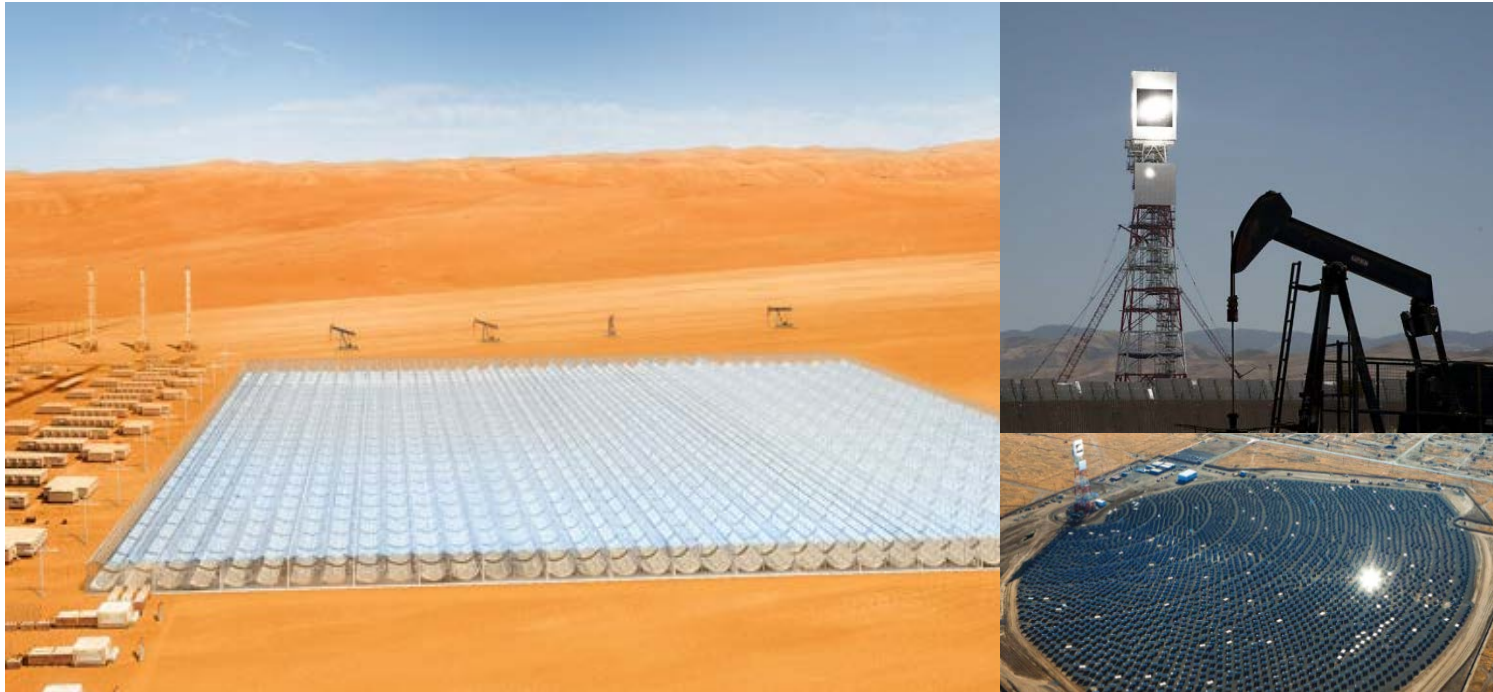
China 1 GW - Morocco 0.7 GW



# Torres Solares en fase avanzada

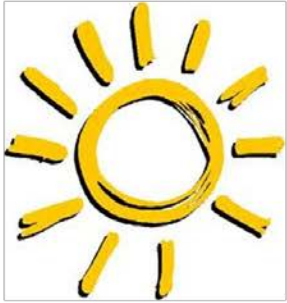
- 2020: 110 MW Redstone, South Africa (10h TES – molten salts)
- 2020: 110 MW Cerro Dominador, Chile (17.5h TES – molten salts)
- 2018: 150 MW Noor III, Morocco (7.5h TES – molten salts)
- 2020: 2x100 MW DEWA, Dubai (10h TES – molten salts)
- 2021: 150 MW Aurora Project, Australia (7.5h TES – molten salts)

# CSP para co-generación y calor de proceso





# CSP para co-generación y calor de proceso



Steam 100% MWt

~ 10 - 20% Electricity MWe

~ 80 – 90 % Thermal energy MWt

- District heating / Cooling
- Fresh water production
- Absorption cooling
- Process steam
  - Textile industry
  - Paper
  - Beverages
  - Food
  - Refineries
  - Aluminium
  - Other

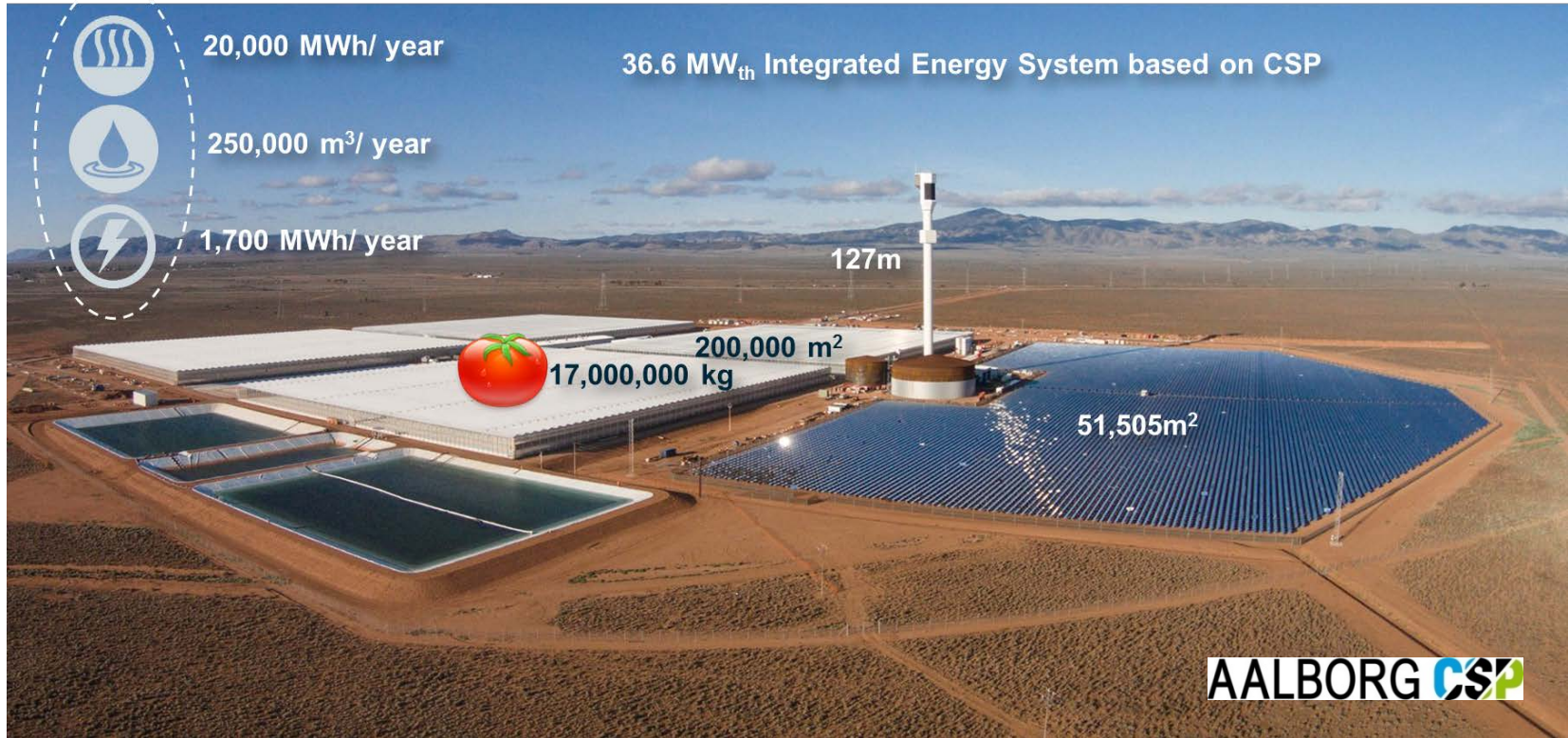
AALBORG **CSP**

# CSP para co-generación y calor de proceso

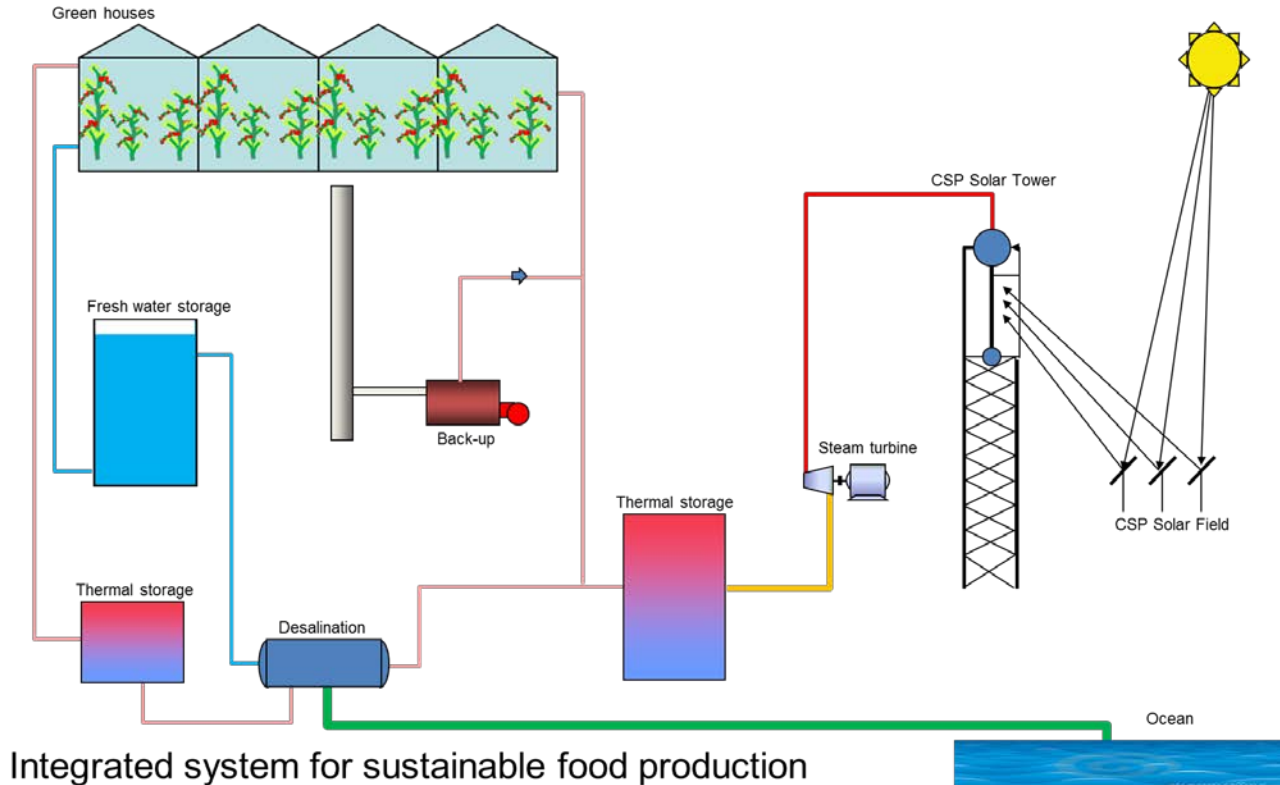




# CSP para co-generación y calor de proceso



# CSP para co-generación y calor de proceso



AALBORG CSP



# CSP para co-generación y calor de proceso



**AAL-Trough™ 3.0**

**Location:** Brønderslev, Denmark

**Capacity:** 16.6 MW<sub>t</sub>

**Area:** 26,929 m<sup>2</sup>

**Temperature:** 330 °C

**Status:** operational since 12/2016

**Households:** ~4,500

**Land:** 9HA

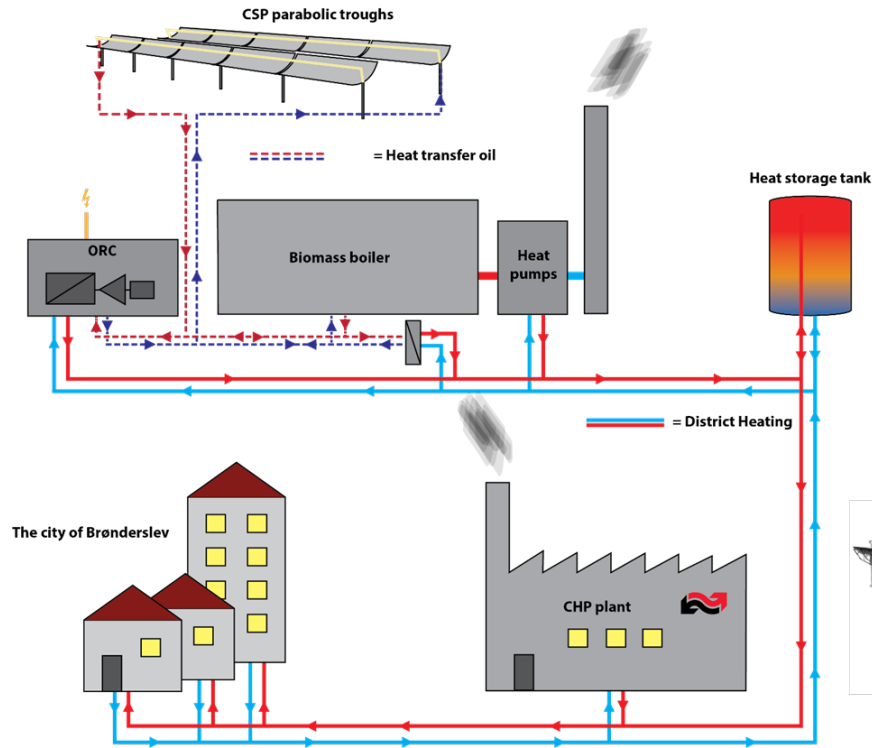
**Row distance:** 15 m

**Area:** 26,929 m<sup>2</sup>

**Row length:** 125 m

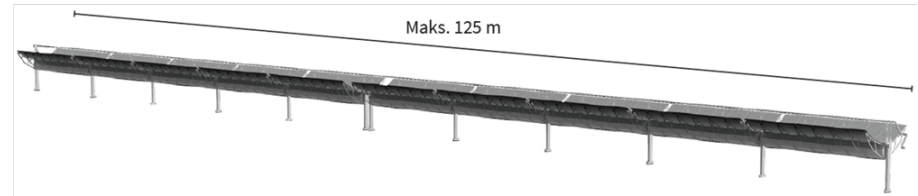
**AALBORG CSP**

# CSP para co-generación y calor de proceso



The ORC plant can convert  
20 MW thermal energy to 4 MW power and 20-22 MW heat

<b>Biomass-boiler:</b>	2 x 10 MWth
<b>ORC:</b>	4 MWe
<b>Heat pump 1:</b>	900 kW
<b>Heat pump 2:</b>	1.100 kW
<b>CSP solar field:</b>	16,6 MWth
<b>Medium:</b>	thermal oil



# CSP para co-generación y calor de proceso



*Aalborg CSP designed and delivered a CSP system to be integrated with a biomass-organic rankine cycle (ORC) plant for combined heat and power generation – the first one in the world to combine these two technologies in a large-scale setting.*

**Location:** Brønderslev, North of Denmark

**Client:** Brønderslev Forsyning

**Status:** Operational

**Capacity:** 16.6 MWth

**CSP aperture area:** 26,929 m<sup>2</sup>

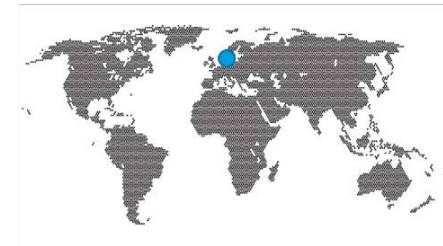
Final energy output:



Heat



Electricity





# CSP para co-generación y calor de proceso




## Facts on the project

The actual plant is geographically displaced with an angle of 13° from the North/South axis.


### Størrelse


 4.039m<sup>2</sup> CSP-solfangere

 5.972m<sup>2</sup> plane solfangere

### Kombi-solvarmeanlæg

 6.082MWh / årligt

 840 opkoblinger

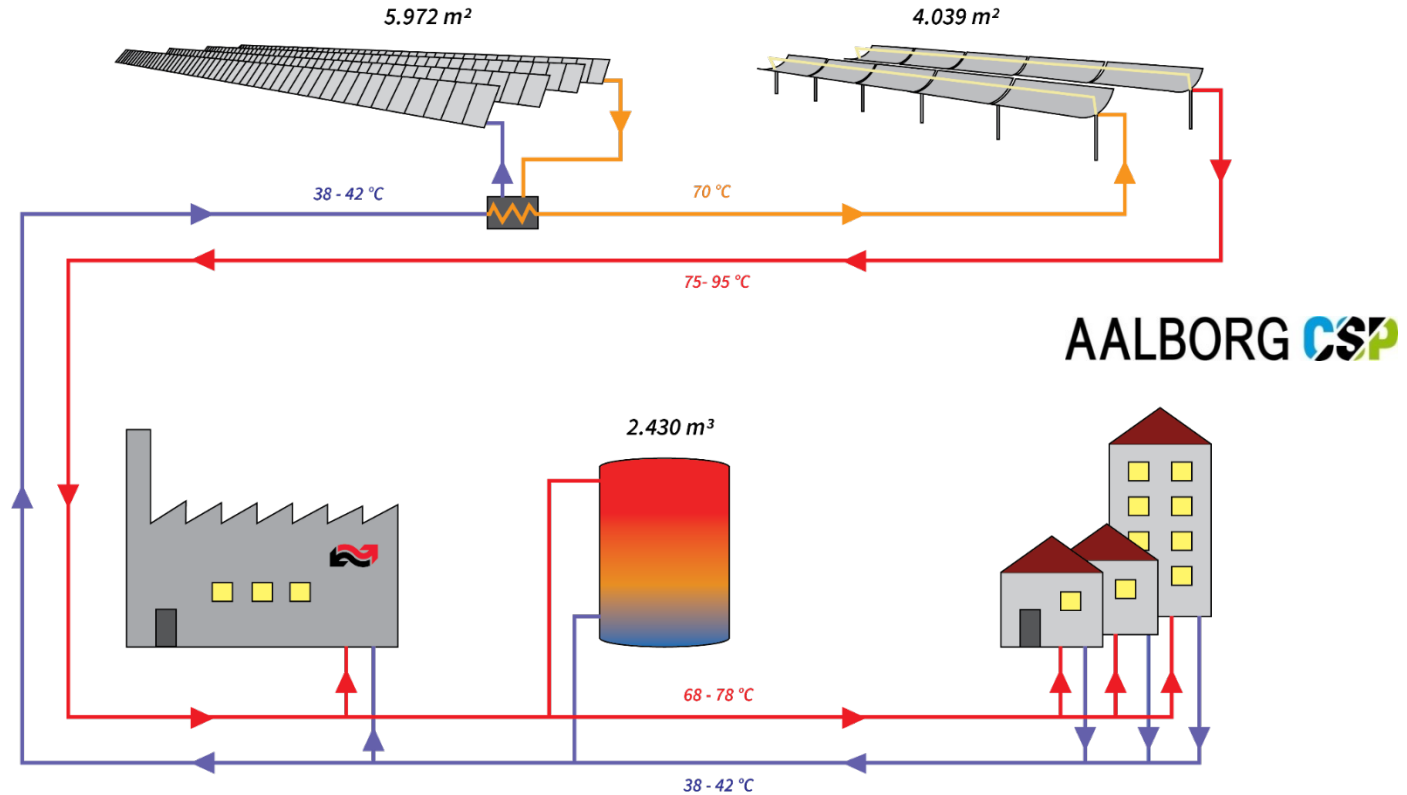
 30% solenergi / årligt



# CSP para co-generación y calor de proceso



# CSP para co-generación y calor de proceso



# CSP para co-generación y calor de proceso

**ENERGÍA TERMO SOLAR PARA CALOR DE PROCESO:** Diseño, instalación, puesta en marcha de un sistema de calentamiento de agua con tecnología solar industrial.

**APLICACIÓN:** Calentamiento de 9,000 litros de agua de alimentación de la caldera a 118°C

## RESULTADOS :

- ✓ Ahorro del consumo total del gas: 48%
- ✓ Desplazamiento de 75mil litros de gas LP.
- ✓ Beneficio fiscal en deducción del ISR (impuesto).
- ✓ Proyecto con payback menor a 3 años.
- ✓ Mayor independencia energética.
- ✓ Disminución de 115 Toneladas de CO2



# CSP para co-generación y calor de proceso

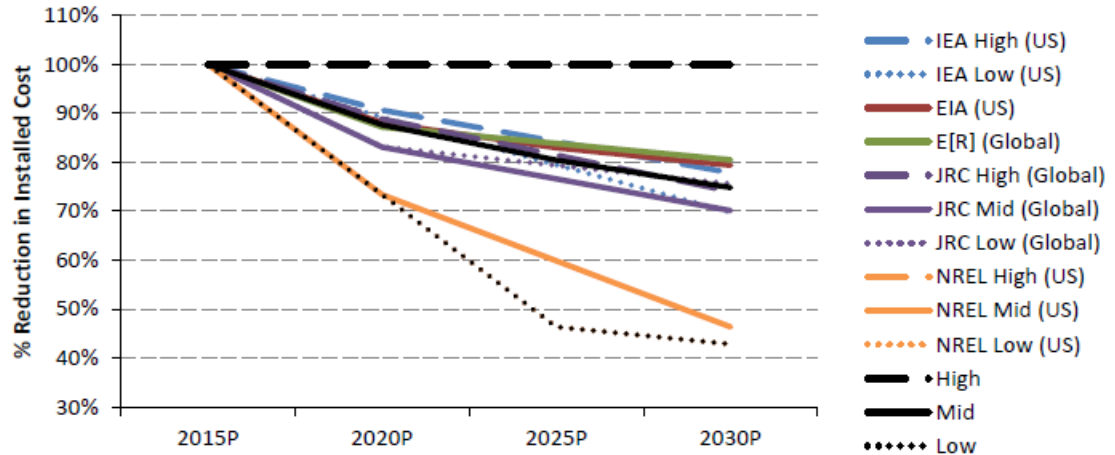


	Industria Alimenticia	Industria Bebidas	Industria Agropecuaria	Industria Textil	Industria Farmaceutica	Industria Cosméticos	Industria Quimica	Mineria	Hoteles	Centros Deportivos	Hospitales	Comedores Industriales	
Destilación y Evaporación	+	+			+		+	+					50-250 °C
Pre calentamiento de caldera	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	70-250 °C
Pasteurización y UHT	+	+											65-180 °C
Esterilización	+	+			+	+	+				+		80-150 °C
Cocción y Escalado	+		+									+	80-150 °C
Agua caliente de servicios									+	+	+	+	40-90 °C
Calor para deshidratación	+		+										30-90 °C
Climatización de invernaderos			+										30-90 °C
Lavados y Lavados CIP	+	+	+		+	+	+		+	+	+	+	60-80 °C



# Beneficios, ventajas y desafíos

- Técnicos:** Ventaja: Renovable y gestionable (TES es costo-eficiente y robusto)  
 Desafío: Integración de Sistema (en especial para procesos de calor)
- Macro-económicos:** Renovable con mayor inversión local y generación de empleo
- Curva de aprendizaje tecnológico en pleno desarrollo:**  
 Desafío: nuevas temperaturas / eficiencias
- Curva de aprendizaje de costos:**  
 Desafío: reducción de costos en el campo solar



# Escenarios de Mercado para CSP (electricidad)

## SOLARPACES - ESTELA (2016)



*Políticas actuales*

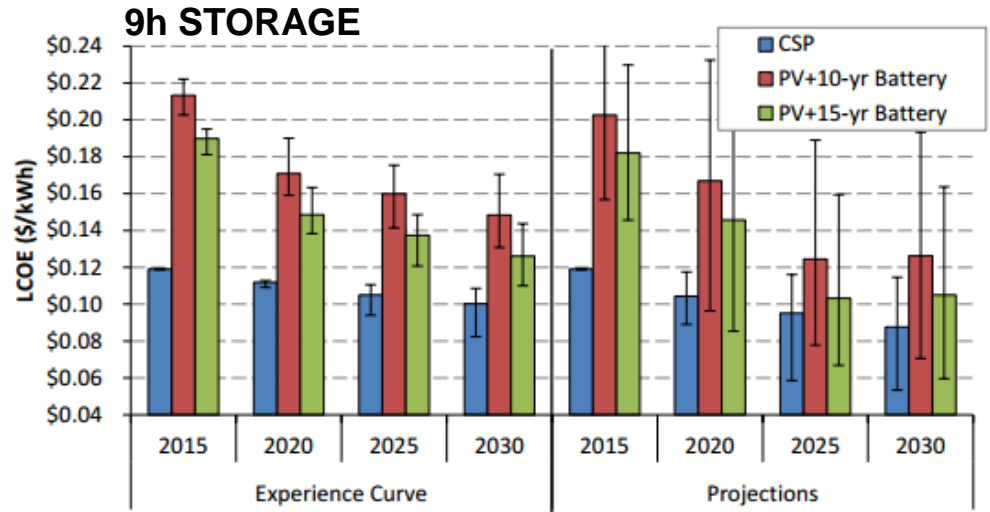


*Políticas optimistas*

## IRENA (2014)



## IEA 2D (2015)



# KTH – Grupo Solar I+D

Investigación aplicada a la industria para mayor competitividad

Concentrating Solar Power (CSP)



Solar Photovoltaic (PV)





# KTH – Grupo Solar I+D

SOLARRESERVE®

AALBORG CSP  
- your green thermal energy partner

gasNatural  
fenosa



TOTAL

MASciR  
Munoz Foundation for Advanced  
Science, Innovation and Research



EUROPEAN  
TURBINE  
NETWORK

Swedish  
Energy Agency

SIEMENS



VATTENFALL



EPFL  
ÉCOLE POLYTECHNIQUE  
FÉDÉRALE DE LAUSANNE



e-on



ROMA  
TRE



AZELIO



masen



Stockholms  
stad







# KTH – Grupo Solar I+D

## **Diseño, Manufactura (Prototipo) y Validación de Desempeño de Receptores:**

- Diseño propio de receptores de aire volumétricos
- Diseño propio de receptores de aire a propulsión de chorro (jet-impinging)
- Diseño de receptores para aplicaciones de motor Stirling.
- Diseño de receptores con sales fundidas.

## **Nuevos conceptos de almacenamiento térmico a alta temperatura (> 700°C)**

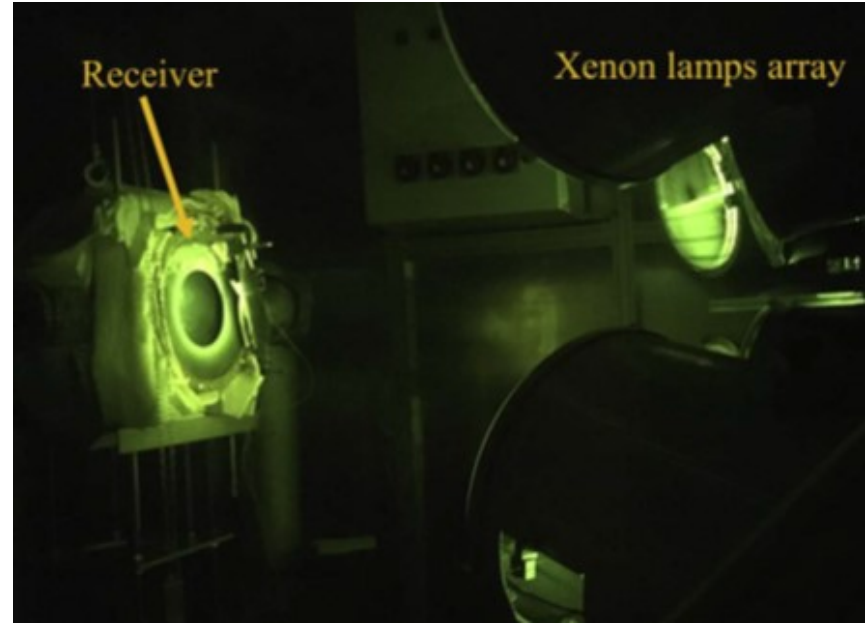
- Nuevos diseños de cama-empacada de piedras y materiales de cambio de fase (metálicos y sales).
- Estrategias de integración de almacenamiento y control de gestión.

## **Simulación tecno-económica de planta y sistemas:**

- Simulación personalizada a medida de los requerimientos de sistema
- Estudios de flexibilidad de planta
- Estudios de hibridación y evaluación de desempeño de sistemas innovadores
- Modelado de costos, proyecciones y elaboración de escenarios.

# Novel Impinging Receiver Concept

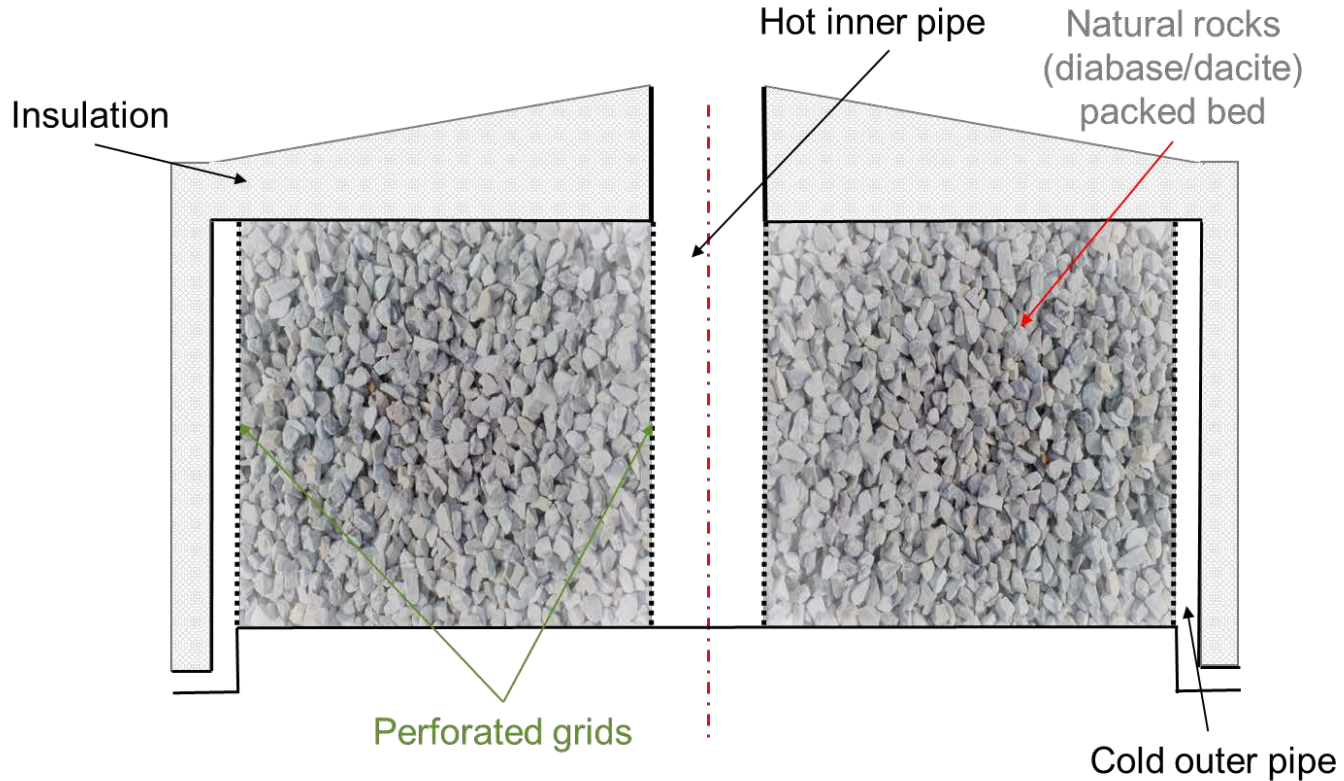
## Indoor Testing of a Solar Hybrid Micro Gas Turbine System



# Novel Volumetric Air Receiver



# Novel High Temperature Storage Concept







# Resumen

## **La CSP es una tecnología probada y en continuo desarrollo tecnológico**

- El diseño de un sistema CSP con almacenamiento es adaptable a los requerimientos del proceso
- Hay diversos sub-sistemas y tecnologías disponibles y aplicables según el proceso.

## **El potencial en Chile es inmenso: hay recurso solar, industria capacitada y demanda**

- Tanto para generación eléctrica a gran escala (e.g. SolarReserve) como también para integración en sistemas y procesos industriales

## **Para acelerar la penetración de la CSP en Chile es necesario establecer alianzas estratégicas industria-universidad-gobierno y colaborar con diversos actores internacionales**

## **El grupo de I+D de KTH tiene completo interés y está a disposición de colaborar con los actores locales en apoyo de explotar el potencial de CSP en Chile**

- Educación y capacitación (e.g. intercambios académicos)
- Investigación aplicada compartida con industria y academia.
- Colaborar con actores locales en promover el desarrollo de tecnología local y negocios



KTH Industrial Engineering  
and Management

# CSP en Procesos Industriales

Ventajas, Desafíos y Experiencias

*Dr. Rafael Guédez*

*7 Diciembre, 2018*

