



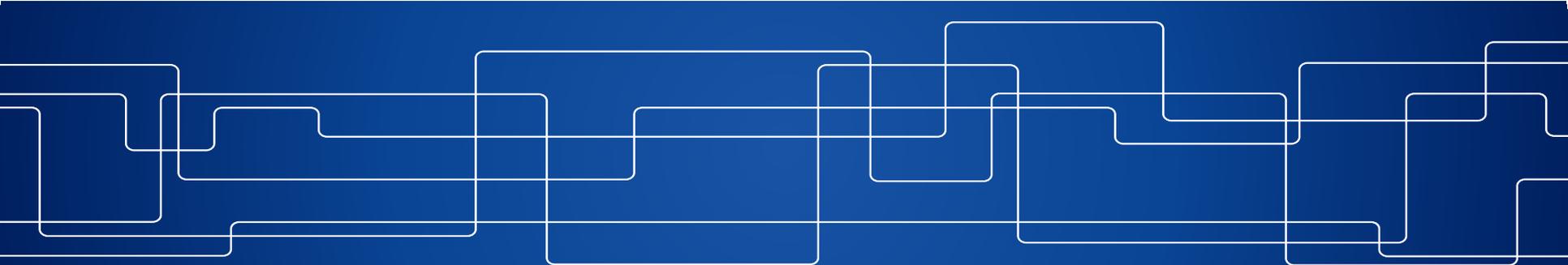
KTH Industrial Engineering
and Management

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

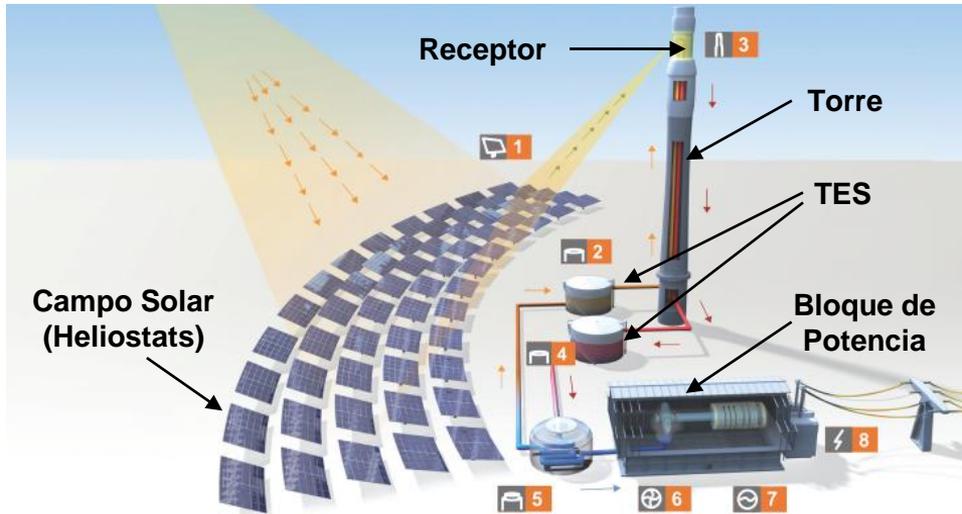
Concentrating Solar Power (CSP)



Solar Photovoltaic (PV)



CSP – Principios Básicos



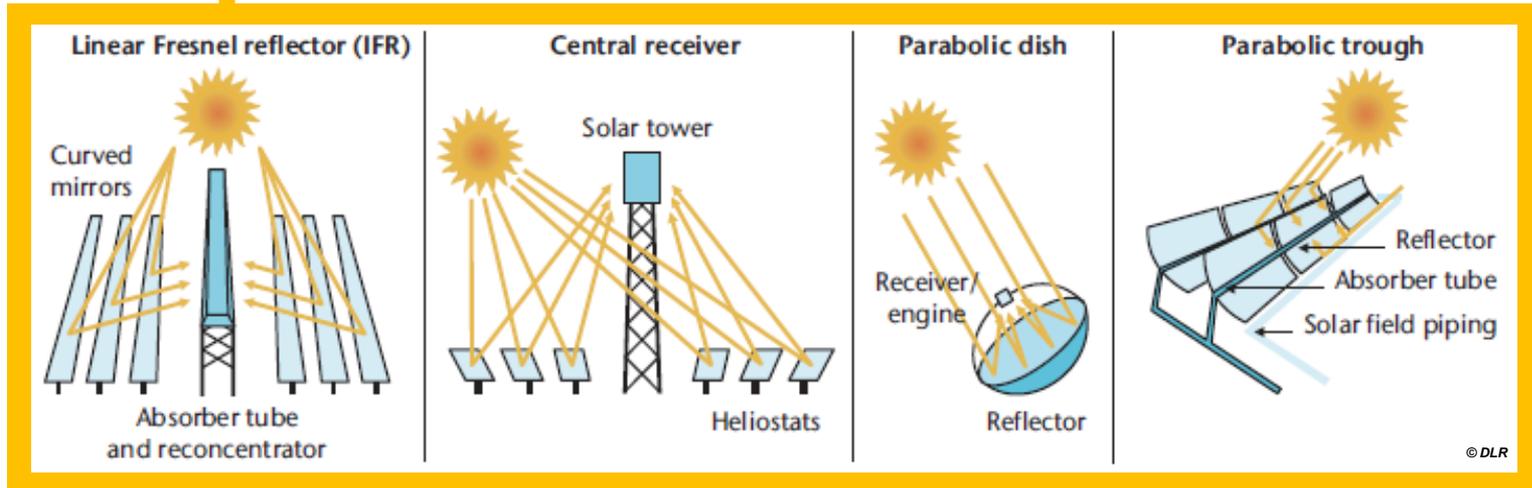
© Torresol Energy



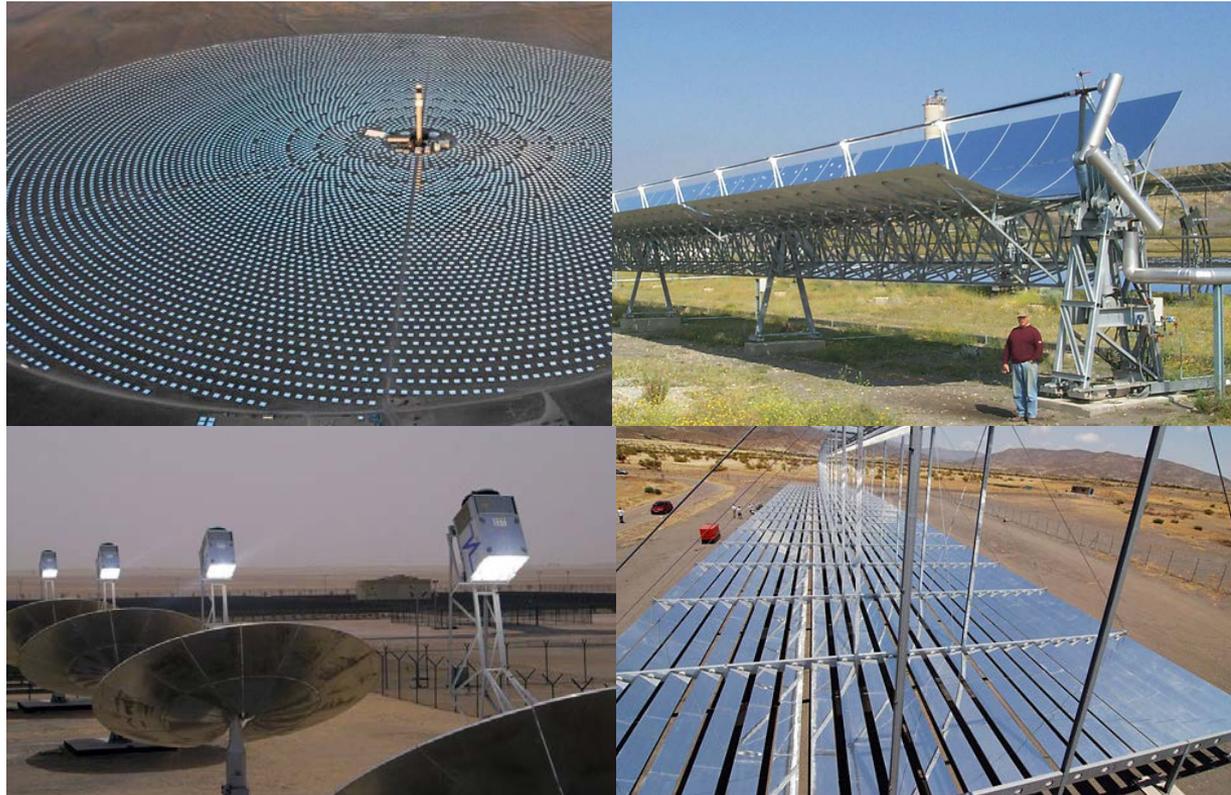
© Torresol Energy

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

CSP – Principios Básicos



CSP - Tecnologías



Plantas Cilíndro-Parabólico (Parabolic Trough)

Solana 280 MW_e
Arizona, USA – 2013



Colector Cilíndro-Parabólico

Intermediate Pillar

Absorber Tube / Heat Collection Element (HCE)



Parabolic Mirror /
Trough Collector

Flexible Joint

Drive Pillar

Support Structure

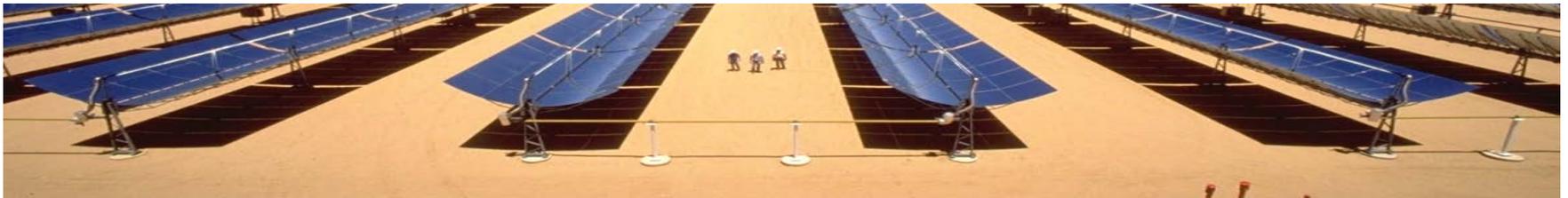
Colector Cilindro-Parabólico

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 [m²]
 I_o : incident beam radiation [W/m²]
 ε_{surf} : surface effectiveness [-]

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



Tecnologías CSP





Crescent Dunes: 110 MW_e
Nevada, USA – 2015

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



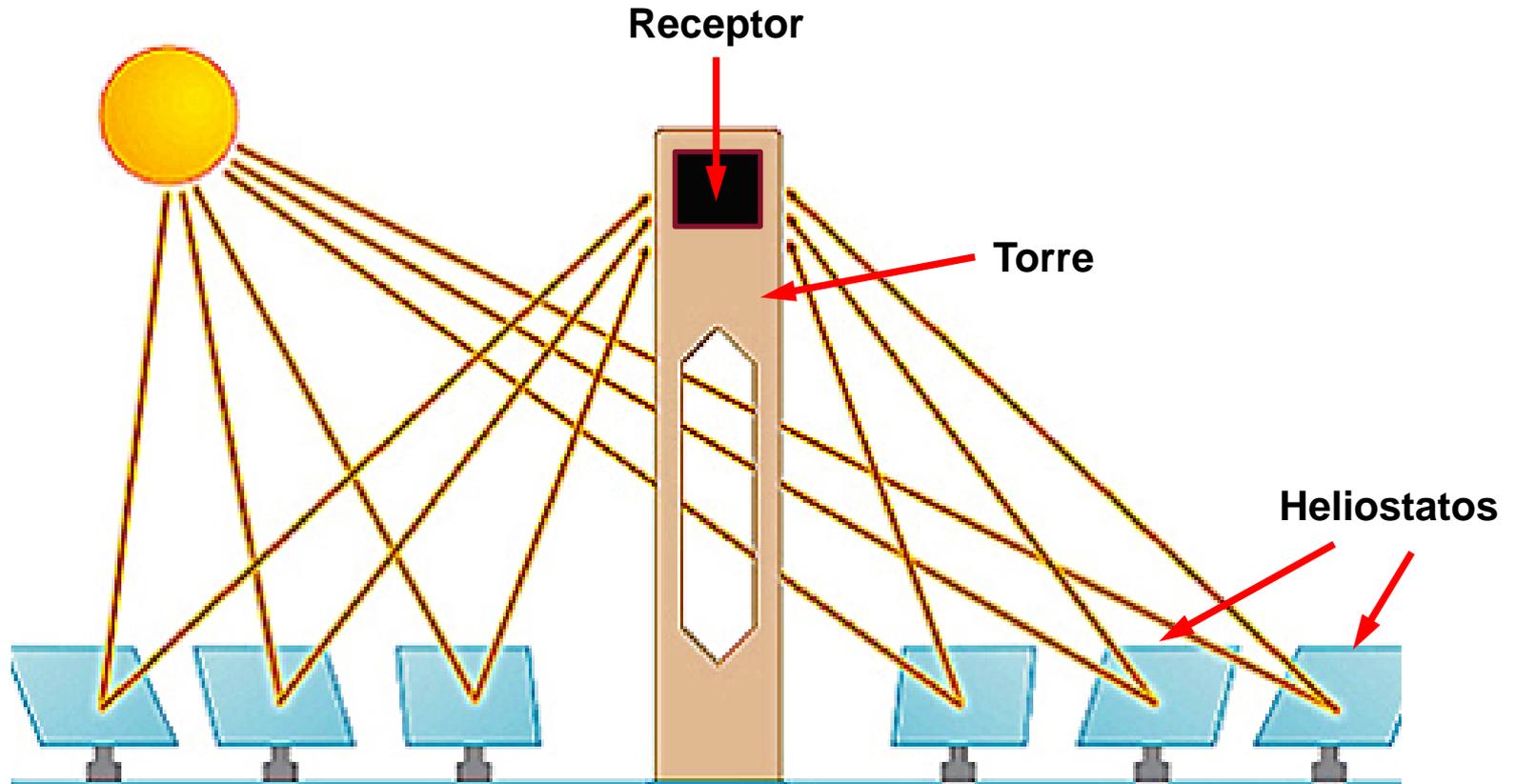
Torre Solar



Torre Solar



Torre Solar

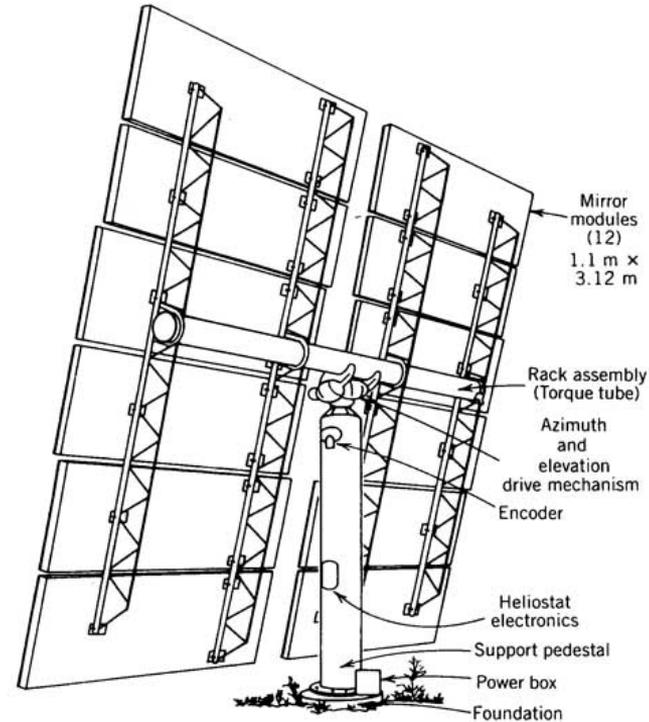


Torre Solar: Heliostatos

Heliostato: estructura de espejos con doble eje de seguimiento

Requerimientos:

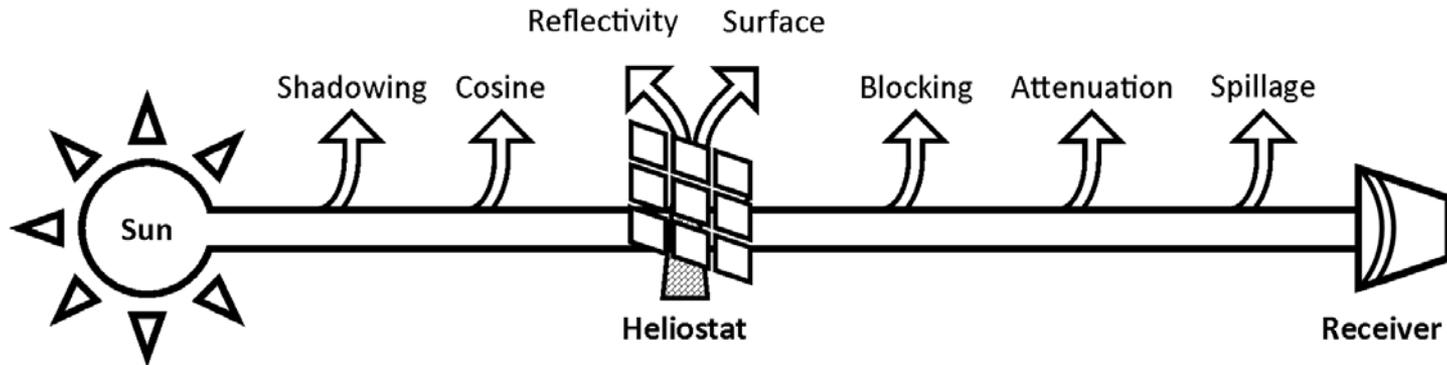
- Alta *reflectividad*
- Alta *precisión óptica*
- Alta *precisión de control y seguimiento*
- Alta *durabilidad (estructura resistente)*



Torre Solar: Heliostatos

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

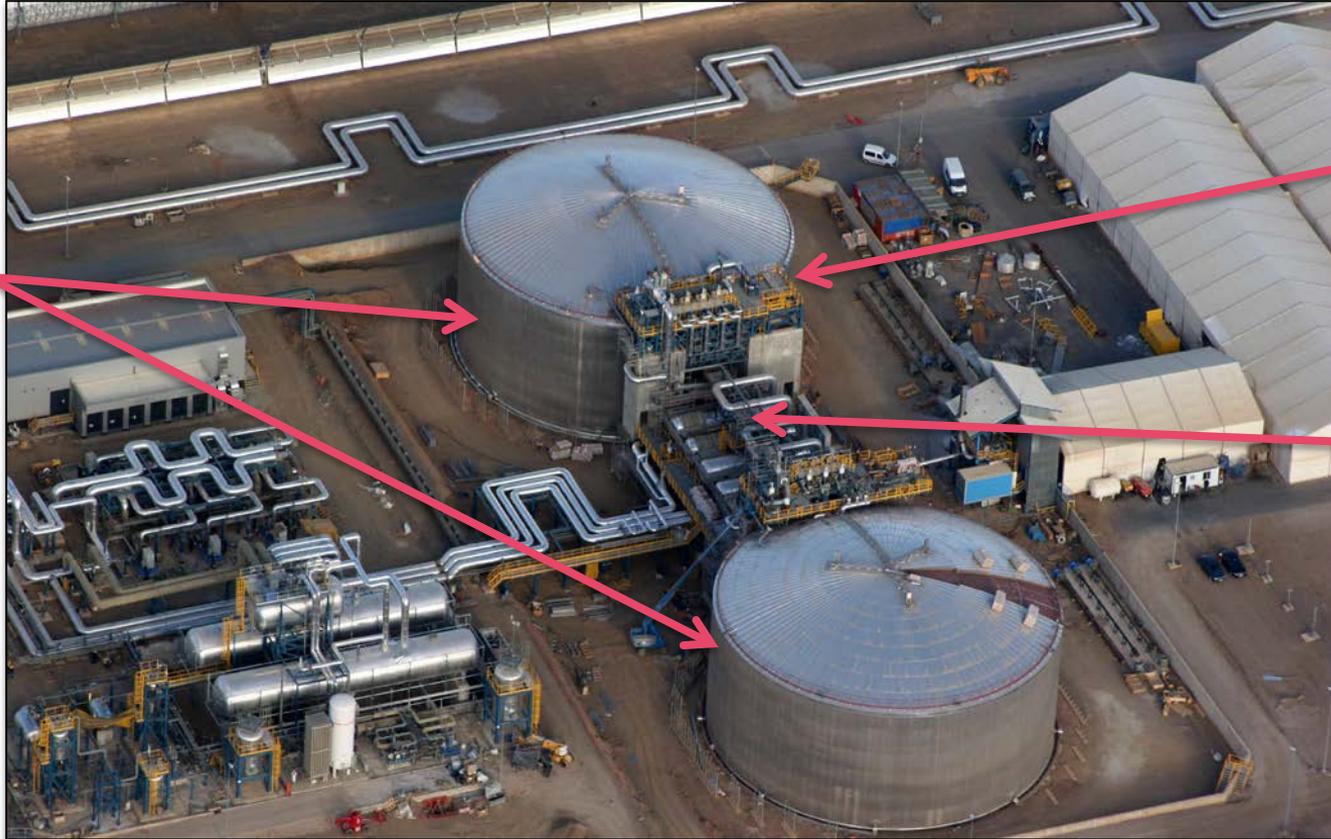
- | | | | |
|------------------------|---|-----------------------|--------------------------|
| Q_h : | thermal power [W] | ε_{cos} : | cosine effectiveness [-] |
| A_h : | heliostat surface area [m ²] | f_{shad} : | shadowing factor [-] |
| ρ_h : | mirror reflectivity [-] | f_{block} : | blocking factor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



Torre Solar: Receptores



Almacenamiento Térmico (TES)

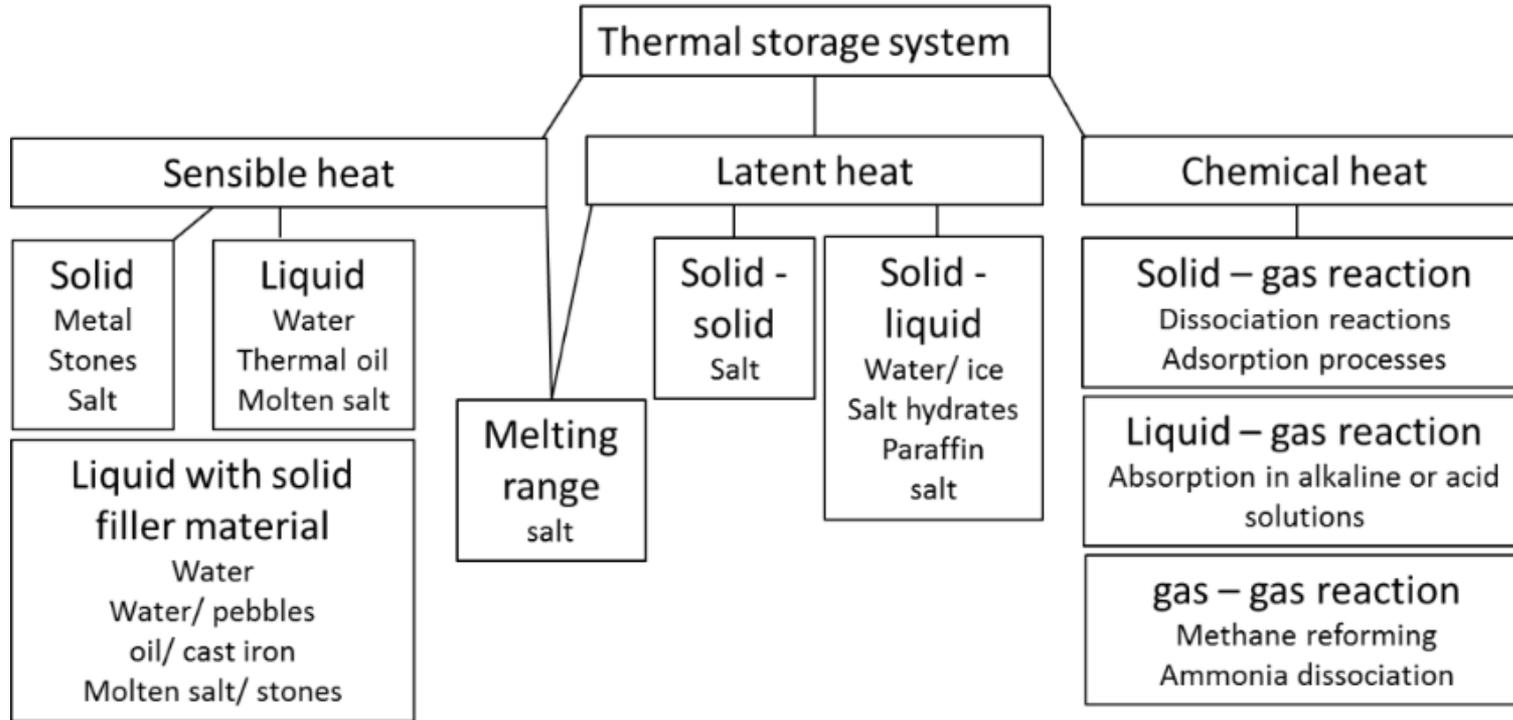


Tanks

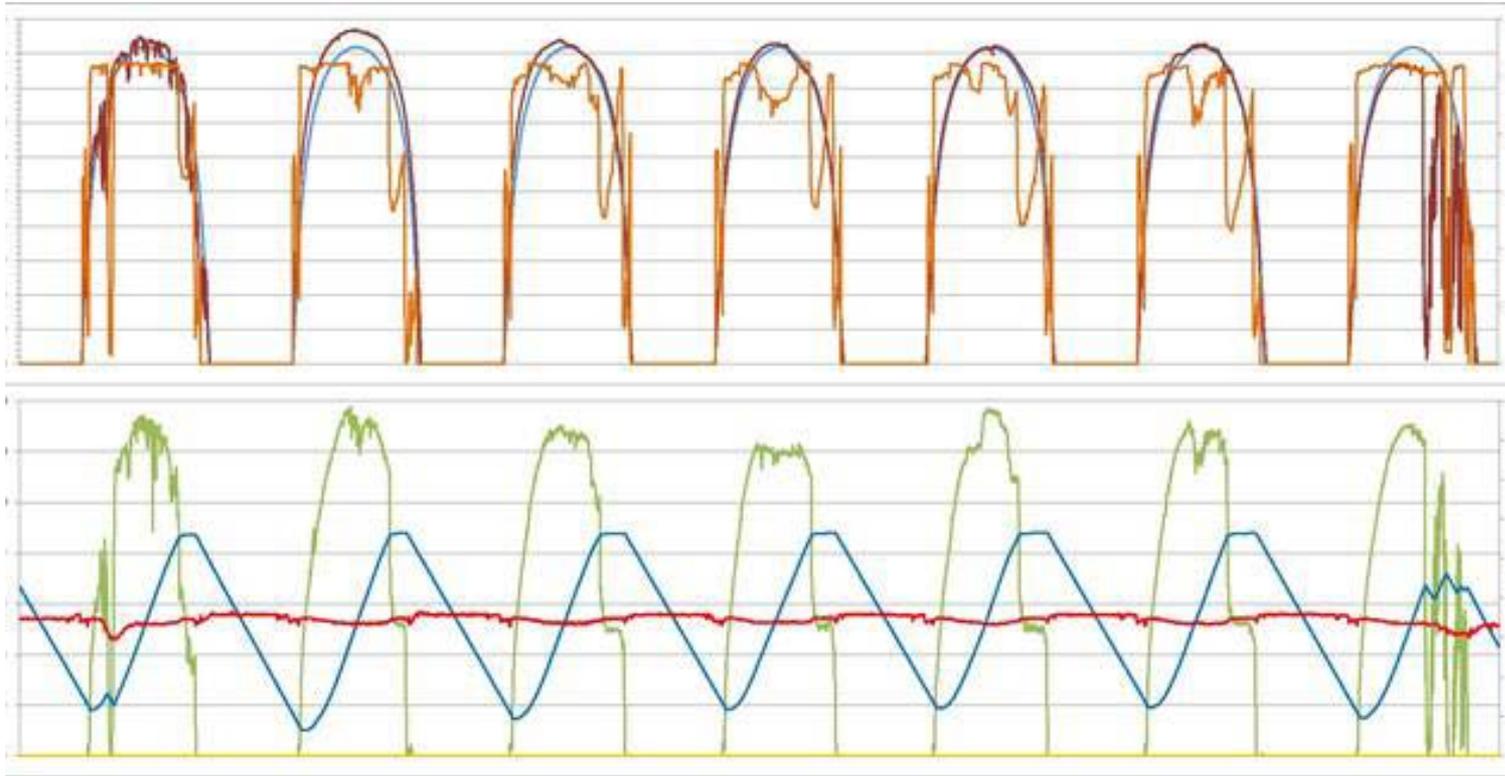
Salt
Pumps

HTF-Salt
Heat
exchangers

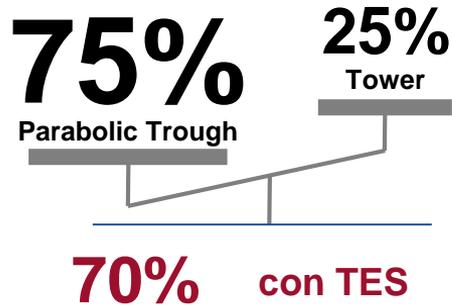
Almacenamiento Térmico (TES)



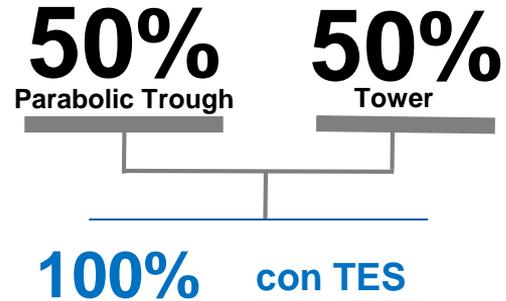
Torre Solar+TES: Operación Real



Mercado de CSP (Q2 2018)



Spain 2.4 GW - USA 1.9 GW



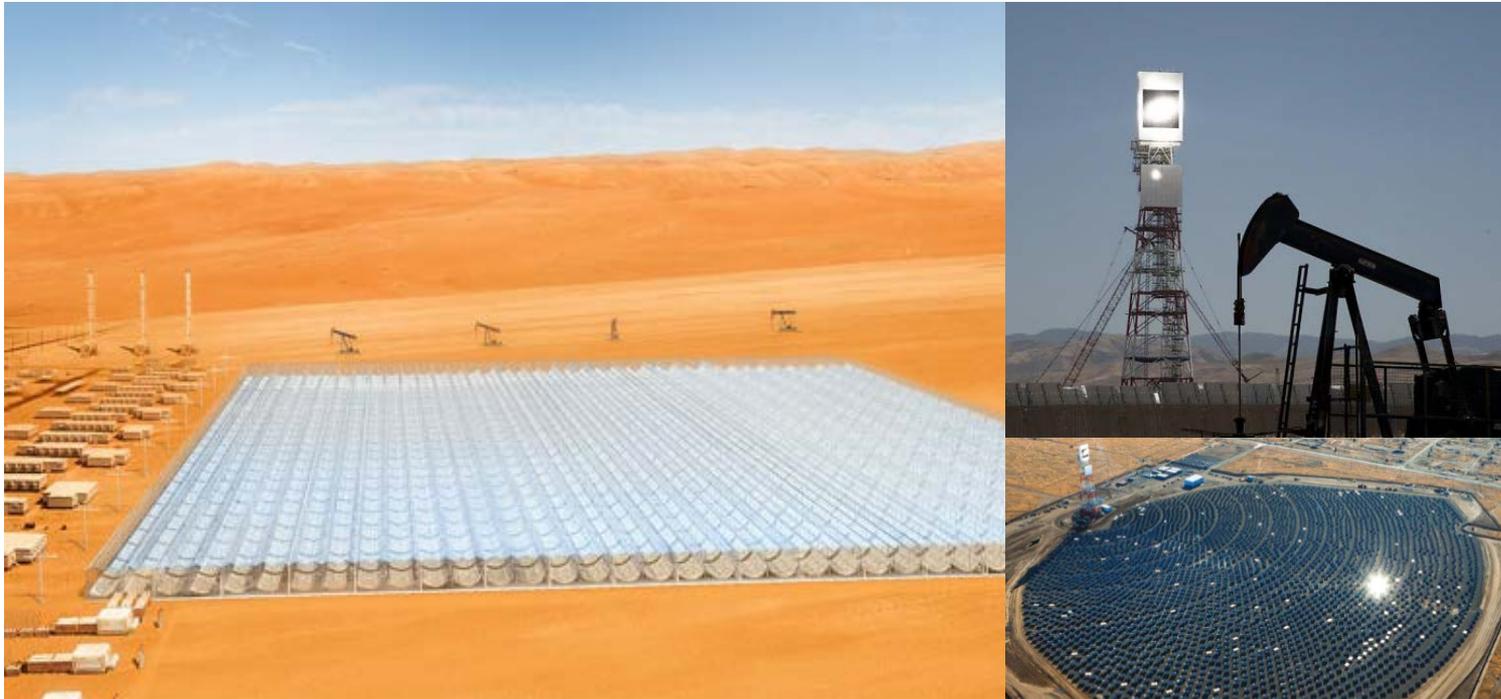
China 1 GW - Morocco 0.7 GW



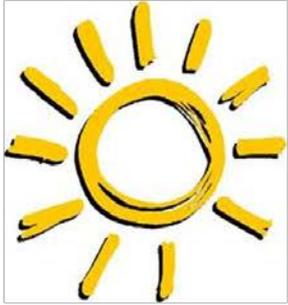
Torres Solares en fase avanzada

- 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

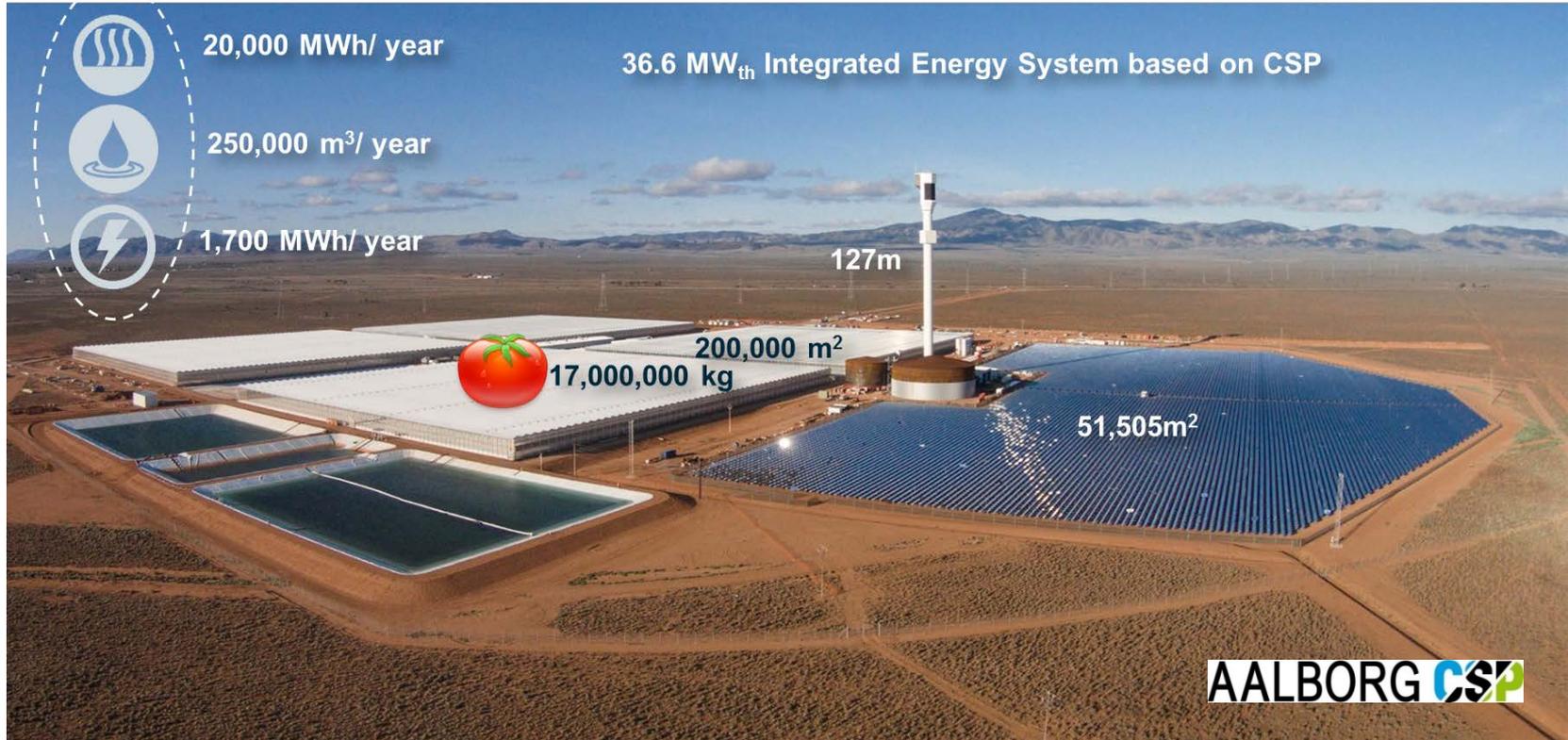
- District heating / Cooling
- Fresh water production
- Absorption cooling
- Process steam
 - Textile industry
 - Paper
 - Beverages
 - Food
 - Refineries
 - Aluminium
 - Other

AALBORG **CSP**

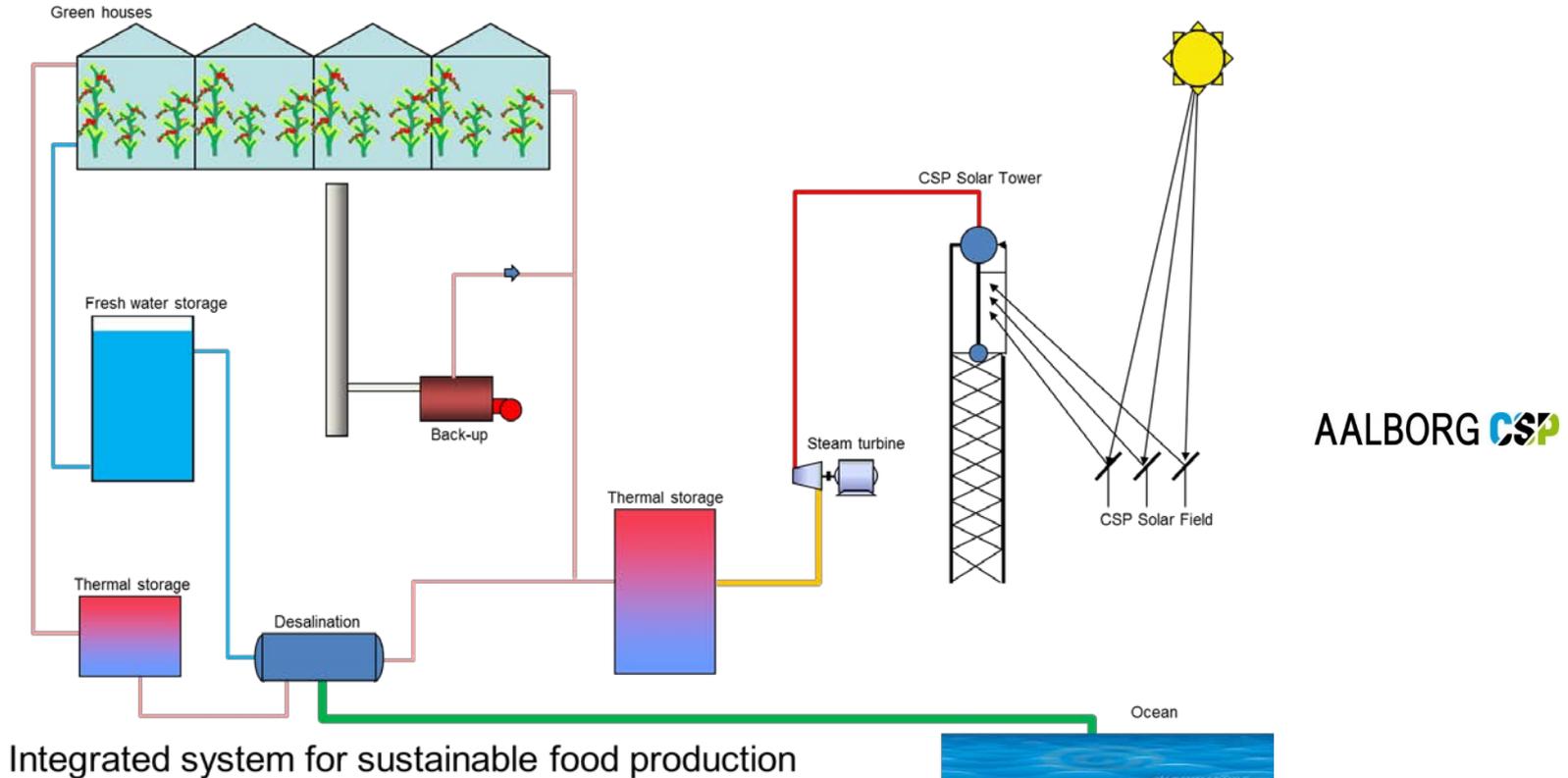
CSP para co-generación y calor de proceso



CSP para co-generación y calor de proceso



CSP para co-generación y calor de proceso



CSP para co-generación y calor de proceso



AAL-Trough™ 3.0

Location: Brønderslev, Denmark

Capacity: 16.6 MW_t

Area: 26,929 m²

Temperature: 330 °C

Status: operational since 12/2016

Households: ~4,500

Land: 9HA

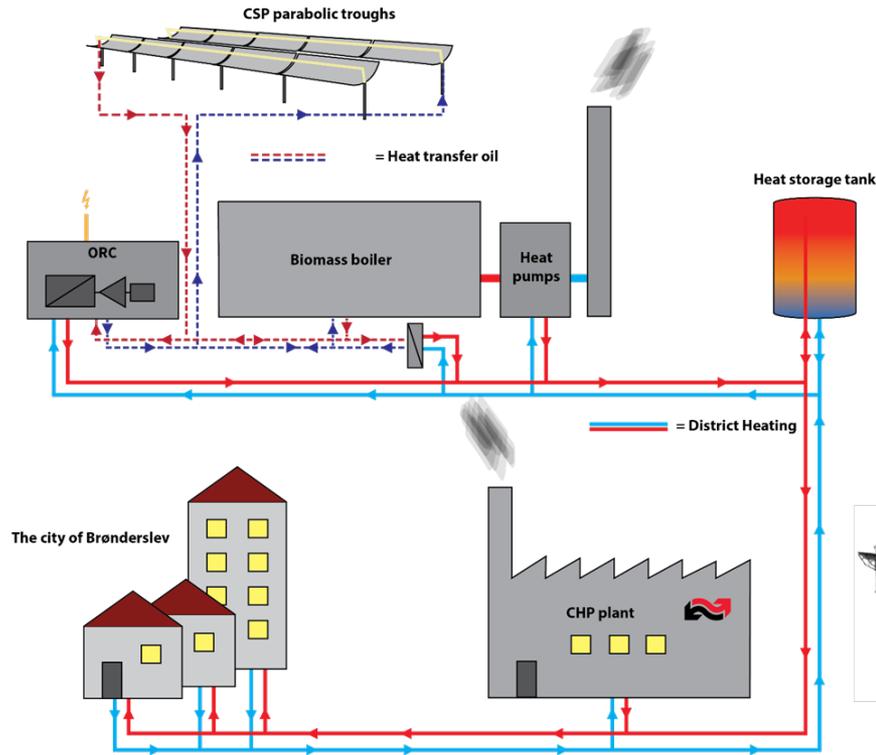
Row distance: 15 m

Area: 26,929 m²

Row length: 125 m

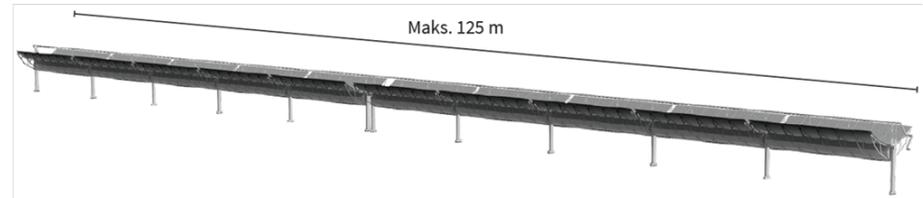
AALBORG CSP

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

Biomass-boiler:	2 x 10 MWth
ORC:	4 MWe
Heat pump 1:	900 kW
Heat pump 2:	1.100 kW
CSP solar field:	16,6 MWth
Medium:	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 m²

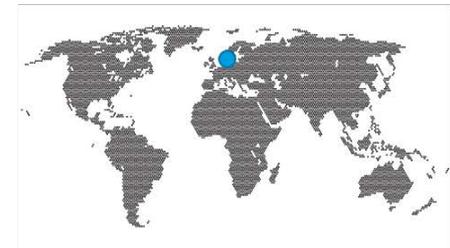
Final energy output:



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

 4.039m² CSP-solfangere

 5.972m² plane solfangere

Kombi-solvarmeanlæg

 6.082MWh / årligt

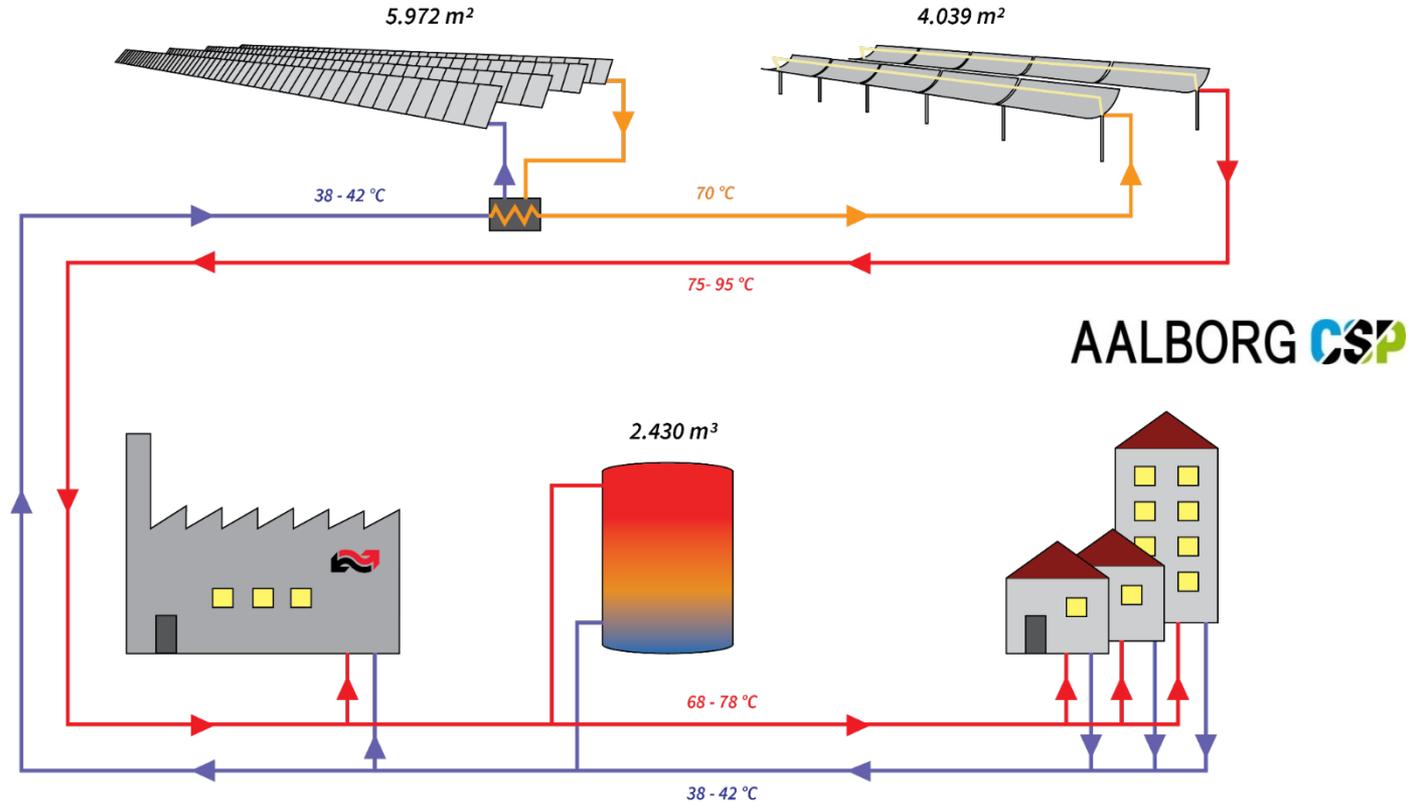
 840 opkoblinger

 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 Cosmeticos



Industria Quimica



Mineria



Hoteles



Centros Deportivos



Hospitales

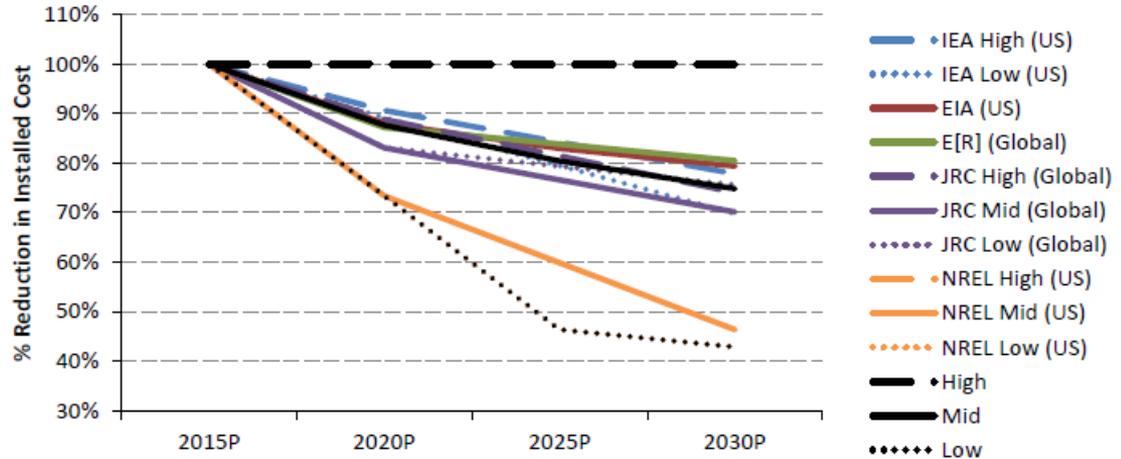


Comedores Industriales

	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

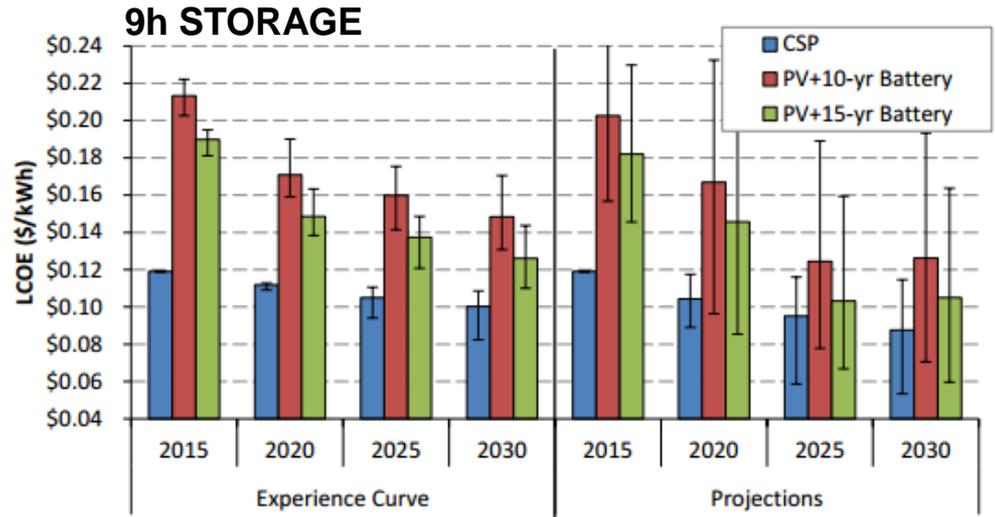


Políticas optimistas

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



SIEMENS



VATTENFALL



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)

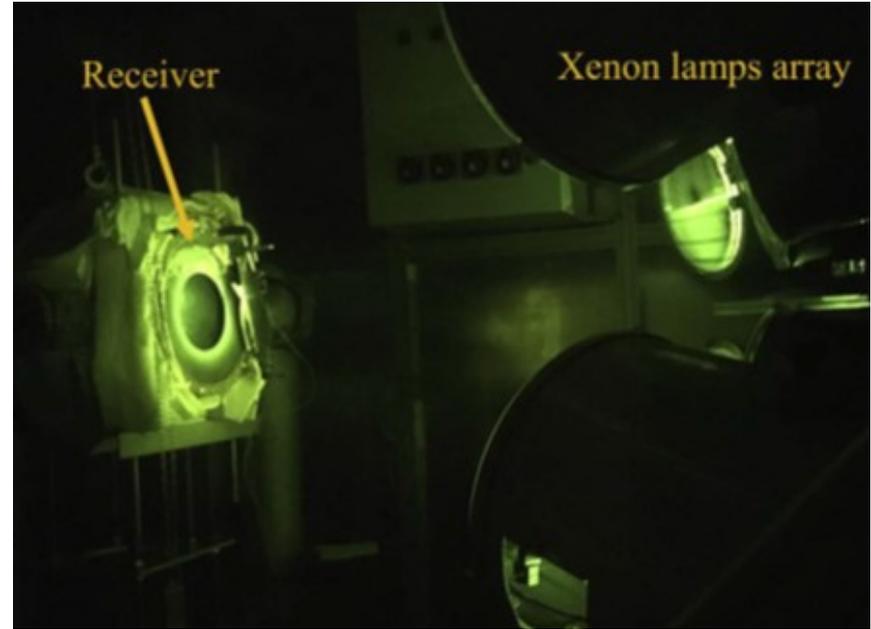
- Nuevos diseños de cama-empacada de piedras y materiales de cambio de fase (metálicos y sales).
- Estrategias de integración de almacenamiento y control de gestión.

Simulación tecno-económica de planta y sistemas:

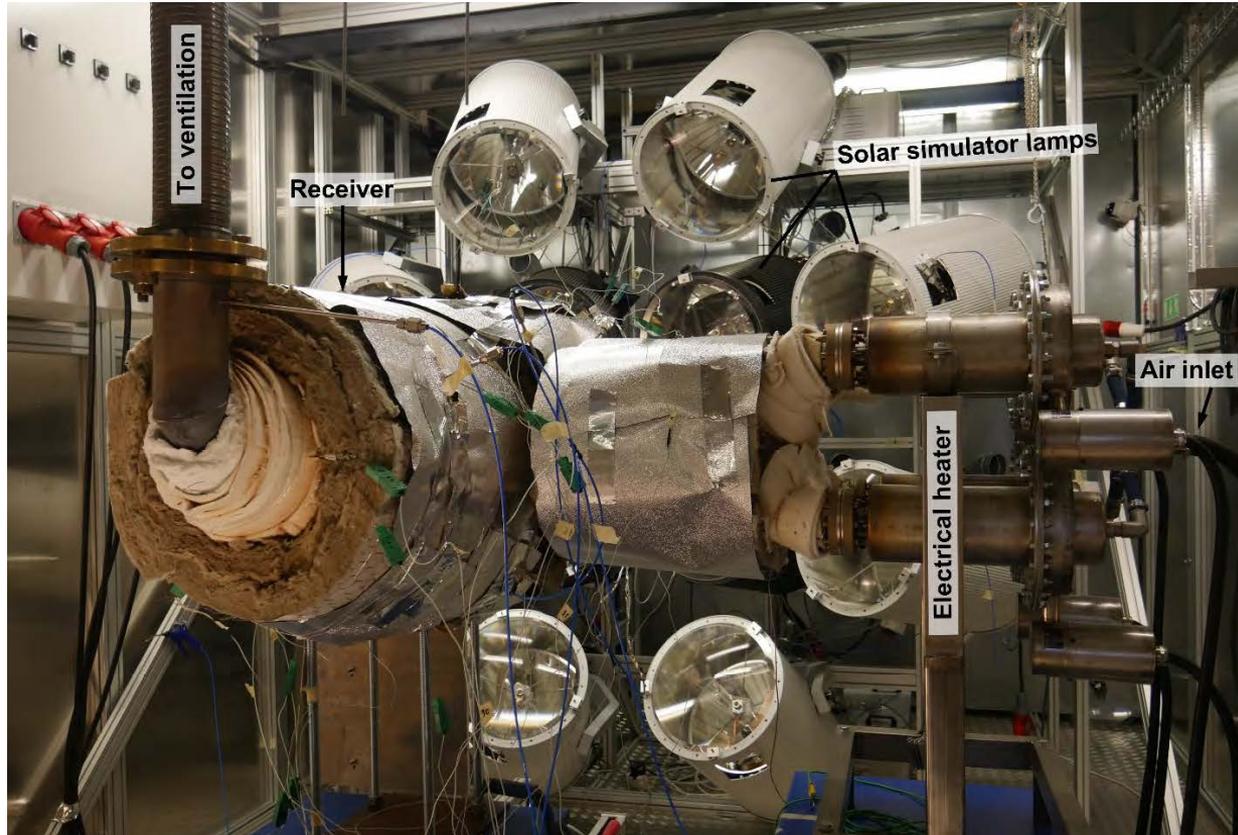
- Simulación personalizada a medida de los requerimientos de sistema
- Estudios de flexibilidad de planta
- Estudios de hibridación y evaluación de desempeño de sistemas innovadores
- Modelado de costos, proyecciones y elaboración de escenarios.

Novel Impinging Receiver Concept

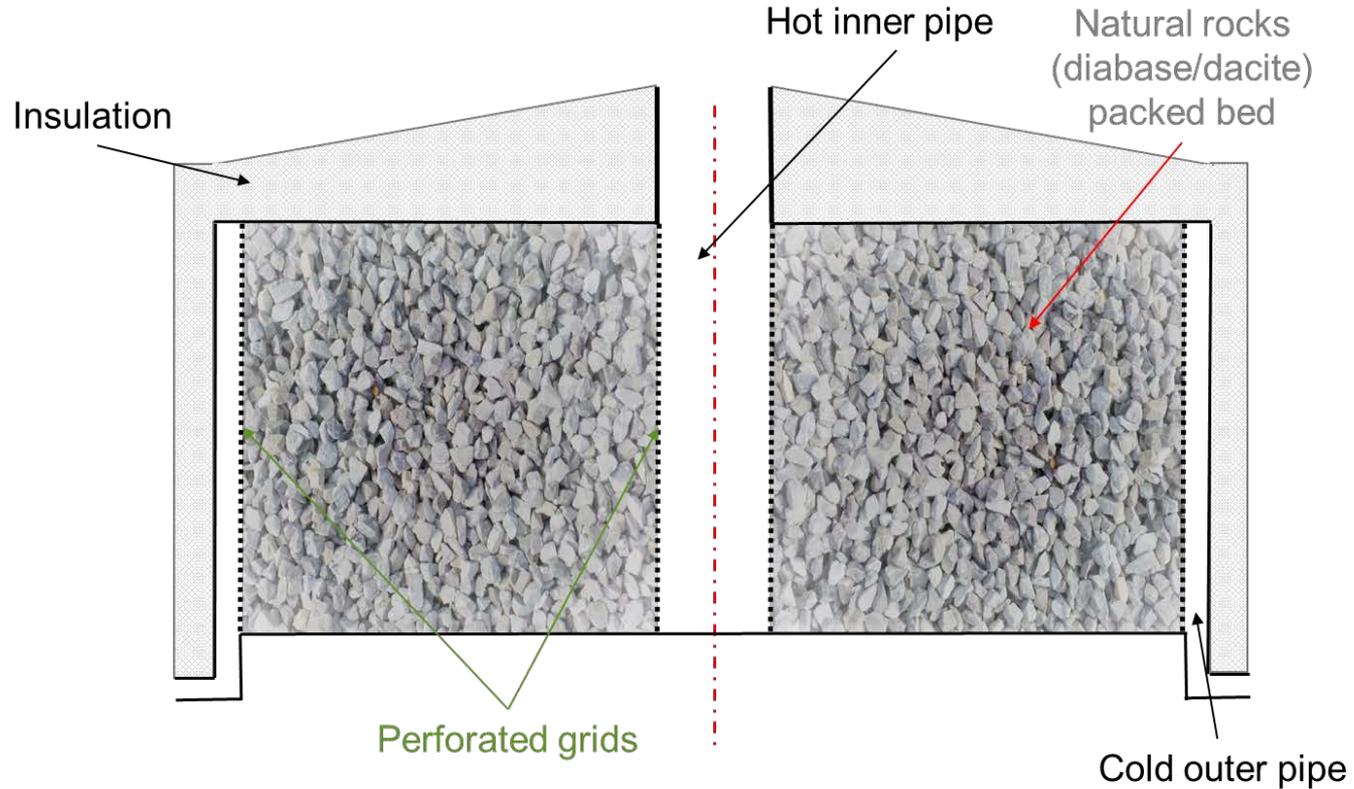
Indoor Testing of a Solar Hybrid Micro Gas Turbine System



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 le 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

