

Seminario de Gestión Ambiental

EL ALMACENAMIENTO DE LA ELECTRICIDAD

Sevilla ,4 de febrero de 2016

Almacenar electricidad en sales fundidas

Dr. Rocío Bayón

Sistemas Solares de Concentración, CIEMAT-PSA

e-mail: rocio.bayon@ciemat.es



MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD

Ciemat

Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas



Organismo Público de Investigación
I + D + i en las distintas fuentes de
energía y su impacto en el medio
ambiente

Datos

- 1330 trabajadores
- Presupuesto: 101 M€
- Ingreso por actividades: 37 M€

www.ciemat.es

CIEMAT - Centros territoriales

Centro de Desarrollo de
Energías Renovables



BARCELONA
CISOT

Centro de Investigación
Socio-Técnica



TRUJILLO
CETA



MADRID
MONCLOA



SORIA
CIDER
CIEDA

ALMERÍA
PSA



Centro Internacional de
Estudios de Derecho Ambiental



Centro Extremeño de
Tecnologías Avanzadas



Almacenar electricidad en las sales fundidas
Sevilla, Febrero de 2016



MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD

Ciemat

Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas

Plataforma Solar de Almería

- Creada como consecuencia de la primera crisis del petróleo de 1973
- Inaugurada en 1981 y fundada por varios socios
- Actualmente pertenece al Gobierno de España
- Laboratorio de ensayo a tamaño real en el desierto de Tabernas

Instalación más completa del mundo dedicada al ensayo de aplicaciones de la radiación solar concentrada

www.psa.es



Almacenar electricidad en las sales fundidas
Sevilla, Febrero de 2016

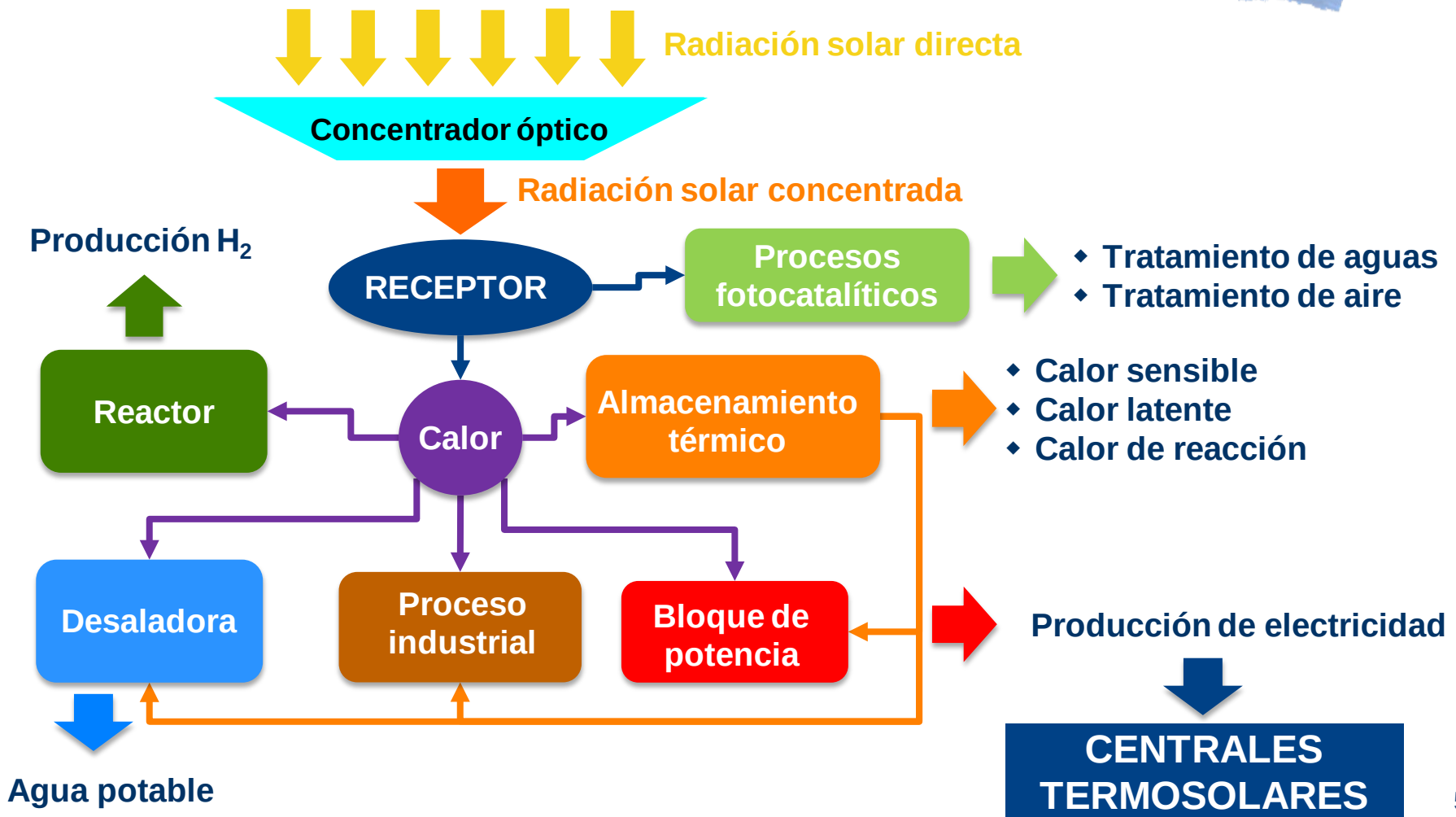


MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD

Ciemat

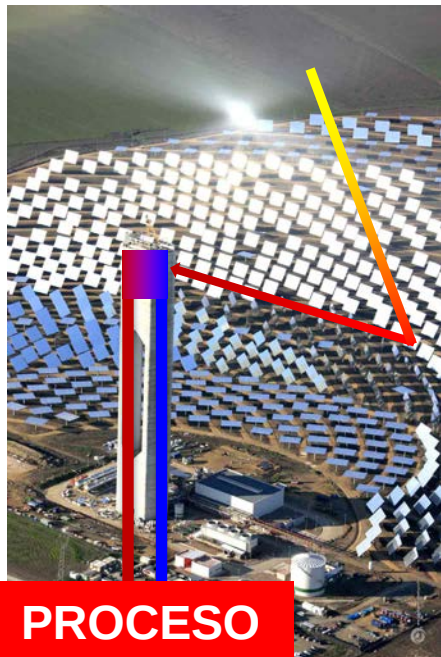
Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas

Energía solar térmica de concentración

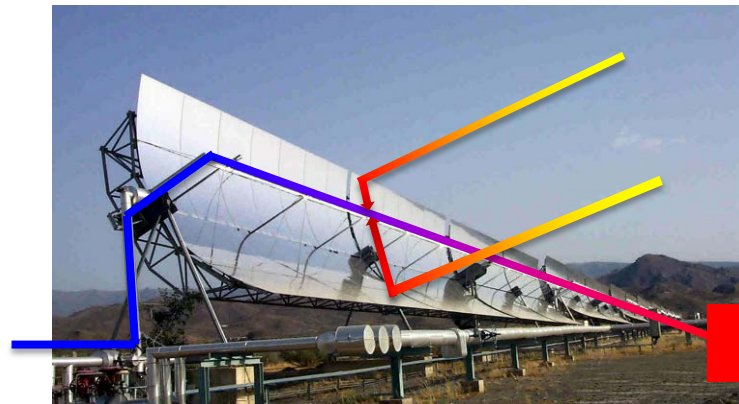


Sistemas de concentración solar para la producción de electricidad

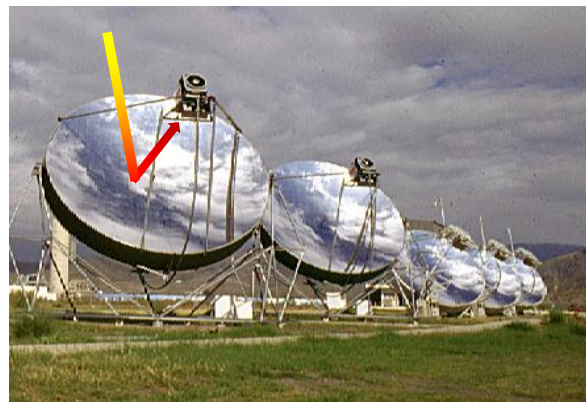
Sistemas de receptor central o torre



Captadores cilindro parabólicos



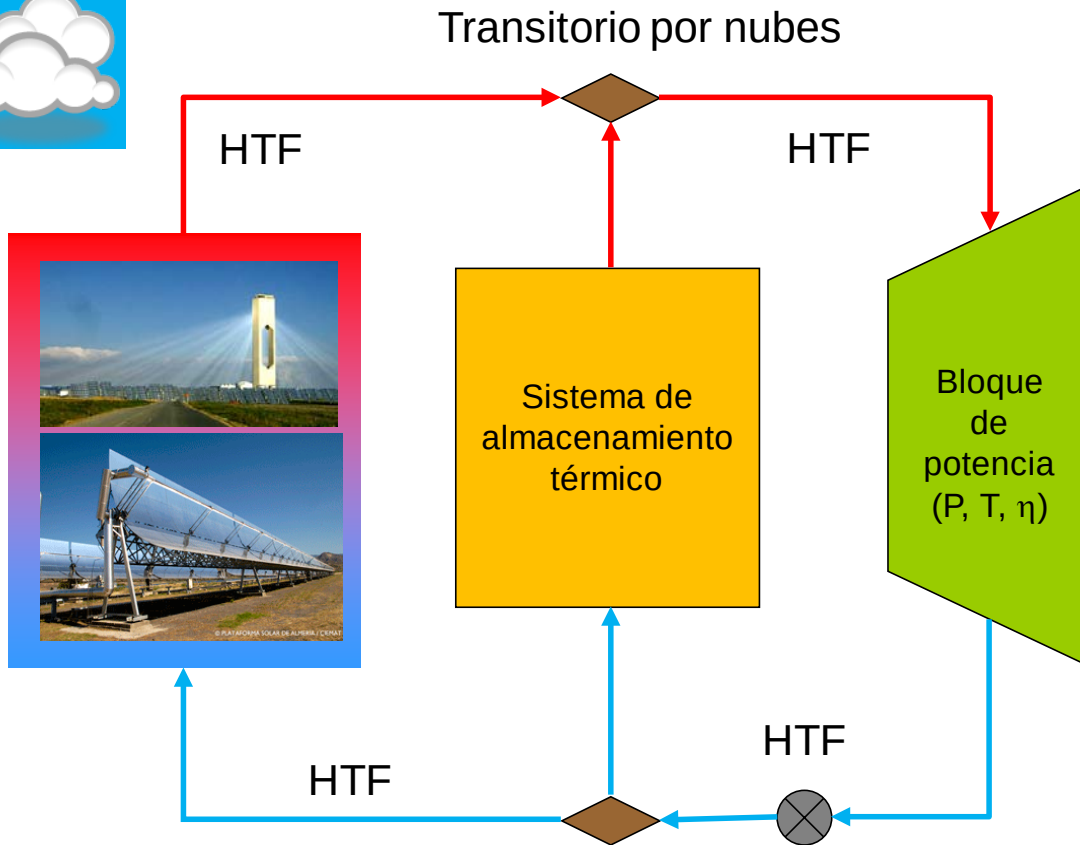
Discos parabólicos o Stirling



Captadores Fresnel



Almacenamiento térmico en centrales termosolares comerciales



1. Campo solar

- Sobredimensionado

2. Bloque de potencia

- Turbina de vapor (ciclo Rankine)
- Condiciones nominales

3. Sistema de almacenamiento

- Medio de almacenamiento (sales fundidas)
- Directo/indirecto
- Capacidad de almacenamiento (h)

4. Fluido de transferencia (HTF)

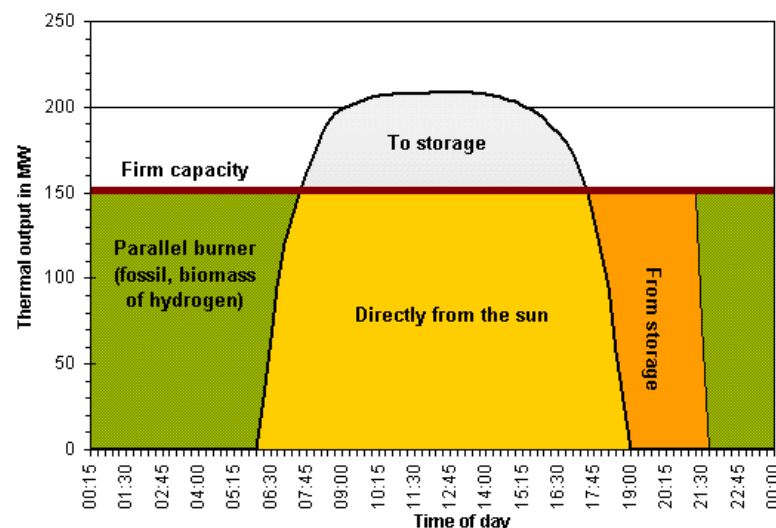
- Aceite térmico (indirecto) o sales fundidas (directo)
- Temperaturas de operación
- **Carga** $\Rightarrow$ El campo solar alimenta la turbina y el almacenamiento
- **Descarga** $\Rightarrow$ El almacenamiento debe alimentar el bloque de potencia en condiciones nominales

Tener almacenamiento térmico implica...

- Independizar la producción energética del recurso solar

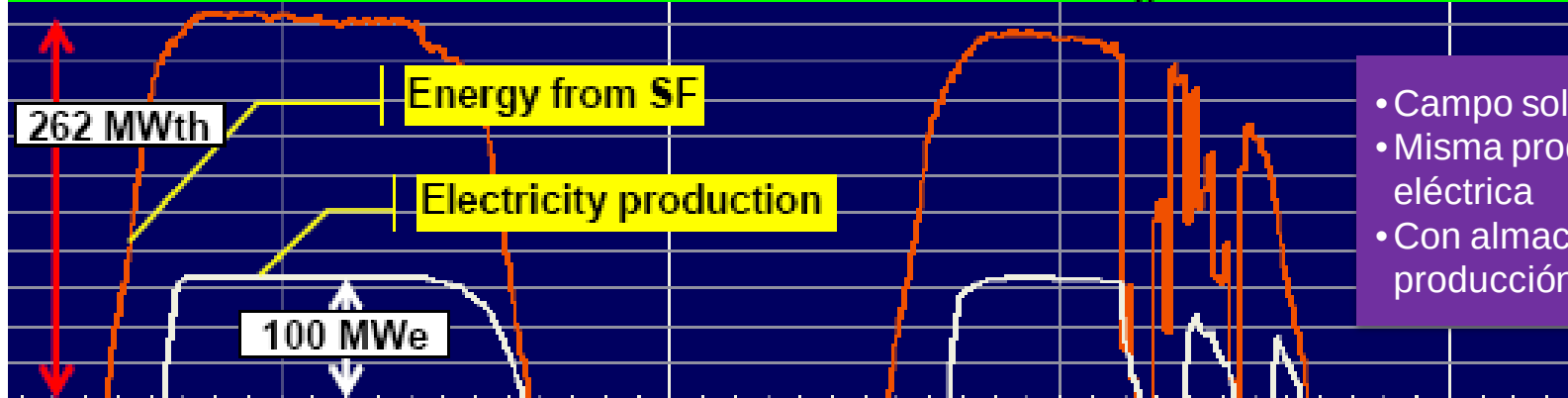
Energía Termosolar==Energía GESTIONABLE

- Favorecer la producción de energía en condiciones nominales
 - Aumentar el rendimiento anual del bloque de potencia
- Aumentar el campo solar y añadir un nuevo subsistema
 - Aumento de la inversión inicial de la planta
 - Aumento de la sobreproducción en verano



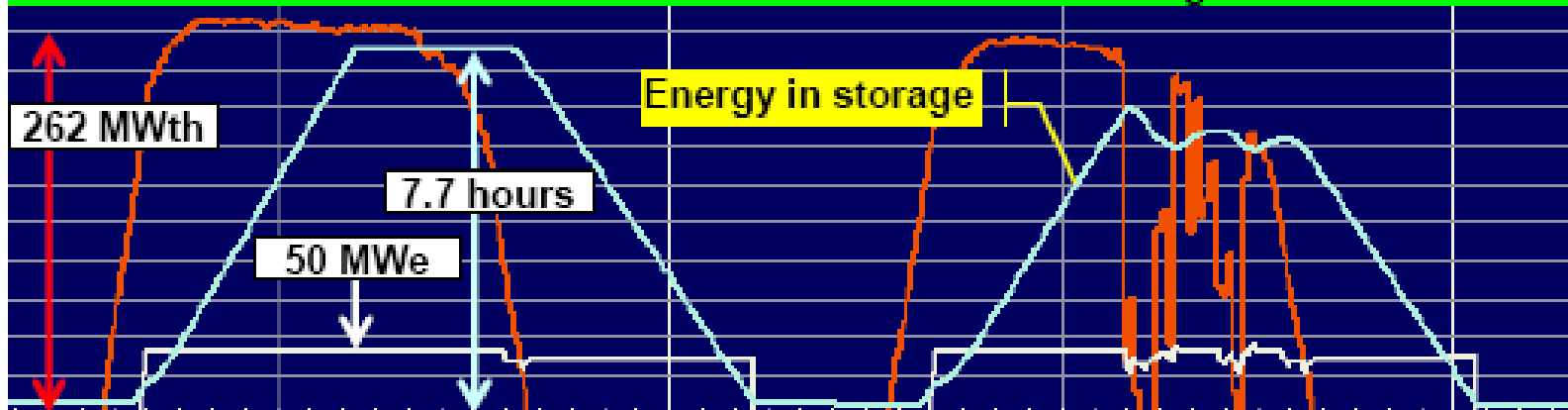
Central con CCP: 50 MW_e con *versus* 100 MW_e sin

PLANT 1 – 100 MWe turbine – No storage



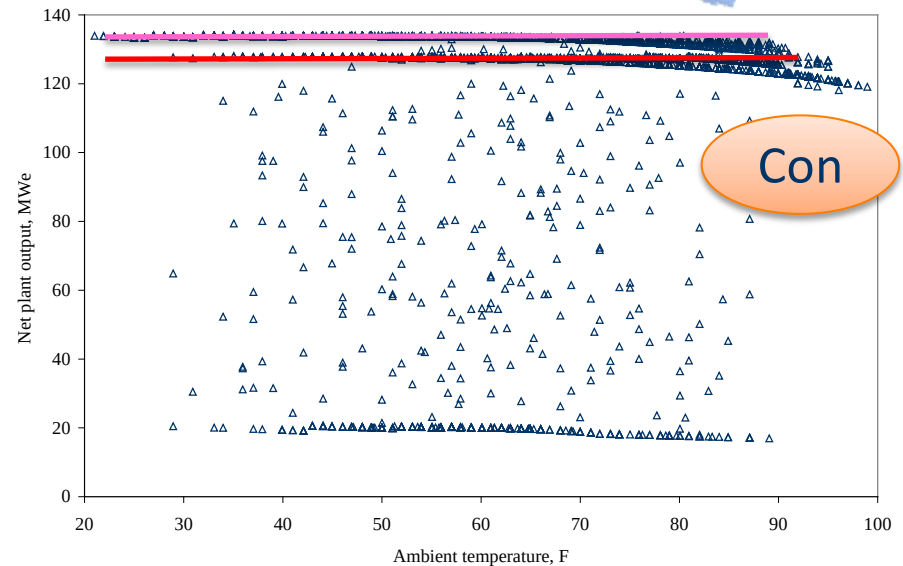
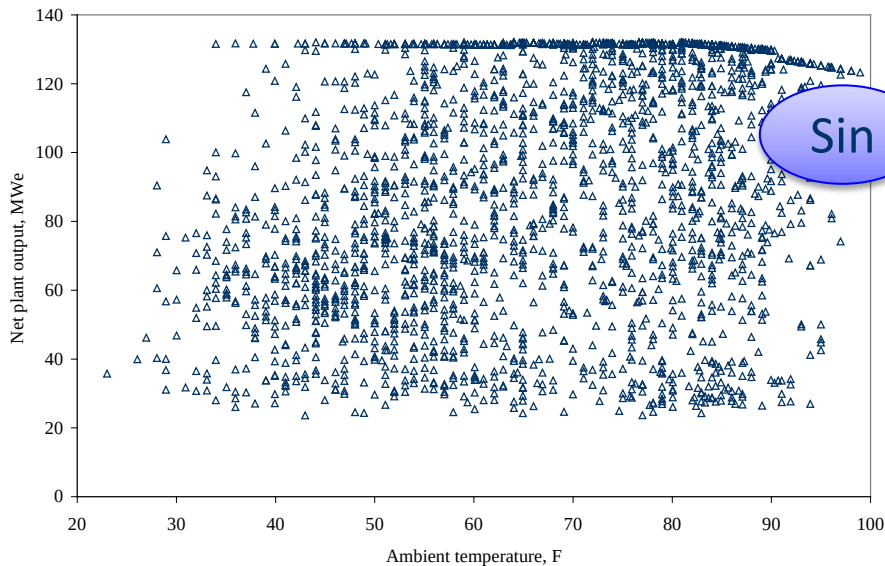
- Campo solar idéntico
- Misma producción eléctrica
- Con almacenamiento producción más estable

PLANT 2 – 50 MWe turbine – 7.7 hours storage



Relloso y Gutiérrez, 2008

Central con CCP: 125 MW_e con *versus* sin



- Resultados de simulación para una planta termosolar sin almacenamiento y con 9 horas de almacenamiento
- Potencia eléctrica producida cada día
- El almacenamiento permite trabajar más días en las condiciones nominales deseadas $\Rightarrow P \sim 125 \text{ MW}_e$
- El bloque de potencia sufre menos al trabajar en condiciones más estables
- Se optimiza el mantenimiento y se alarga la vida de la turbina $\Rightarrow$ Ventaja económica

Almacenamiento en sales fundidas

- **La energía se almacena en forma de calor sensible**
 - Existe un cambio de temperatura en el material que almacena la energía $\Rightarrow$ Medio de almacenamiento.
 - $Q_{\text{SENSIBLE}} = \rho C_p V \Delta T$
- **La cantidad de calor sensible almacenado depende de:**
 - El cambio de temperatura: ΔT
 - La capacidad térmica del medio: ρC_p [kJ/m³K]
 - Cuanto más altos mejor porque se necesita menos material
- **Posibles medios de almacenamiento en calor sensible:**
 - Agua: $\rho C_p \sim 4200$ kJ/m³K
 - Aceites térmicos: $\rho C_p \sim 1900$ kJ/m³ K
 - Hormigón: $\rho C_p \sim 2000$ kJ/m³ K
 - **Sales fundidas: $\rho C_p \sim 2800$ kJ/m³ K $\Rightarrow$ Centrales termosolares**

¿Por qué sales fundidas y cuáles se utilizan?

- Mezcla denominada **Sal Solar: wt-60%NaNO₃+40%KNO₃**
- $\rho C_p \sim 2800 \text{ kJ/m}^3 \text{ K}$
- Intervalo de **estabilidad: 240°C-600°C** $\Rightarrow$ Soporta el rango de temperaturas de operación de las centrales termosolares
- **Baja presión de vapor**
 - Trabajan a presión atmosférica $\Rightarrow$ Tanques de gran tamaño
 - El aceite VP1 NO se puede utilizar $\Rightarrow$ Presión de vapor muy alta
 - El agua tampoco: 30bar/230°C; 100bar/311°C
- **Medio seguro:** no explosivo y no contaminante

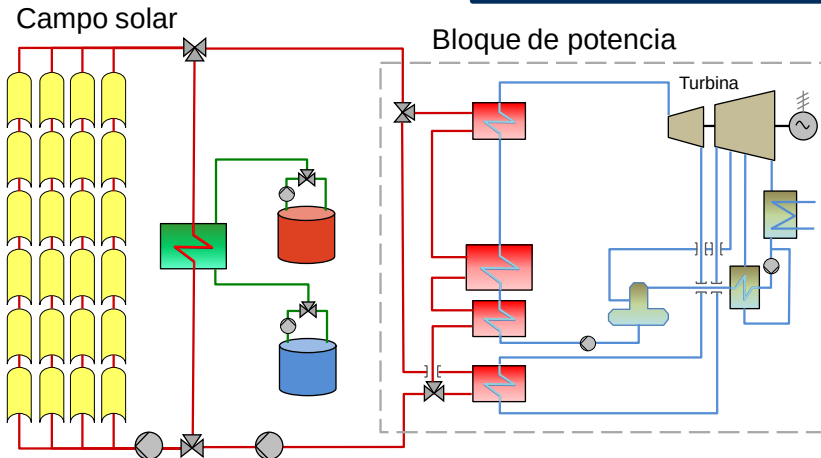
Utilización a nivel comercial gracias a la experiencia previa demostrada en Solar Two (USA EEUU, 10 MW_e)



12

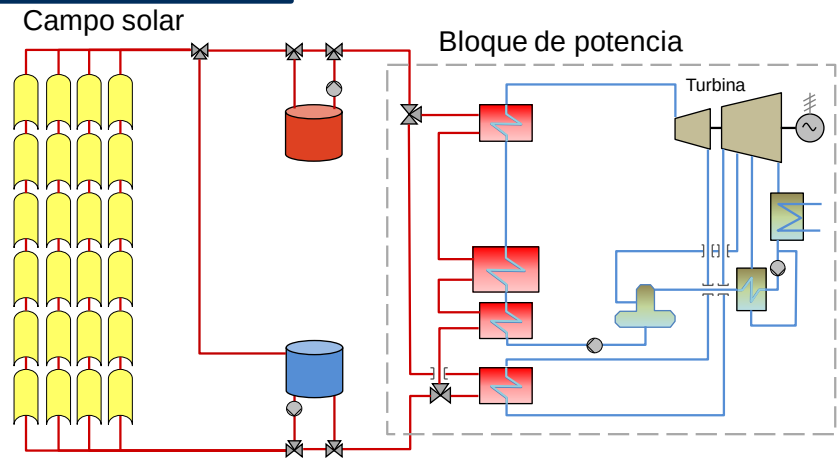
Tipos de almacenamiento en sales fundidas

Sistemas de doble tanque



Almacenamiento indirecto

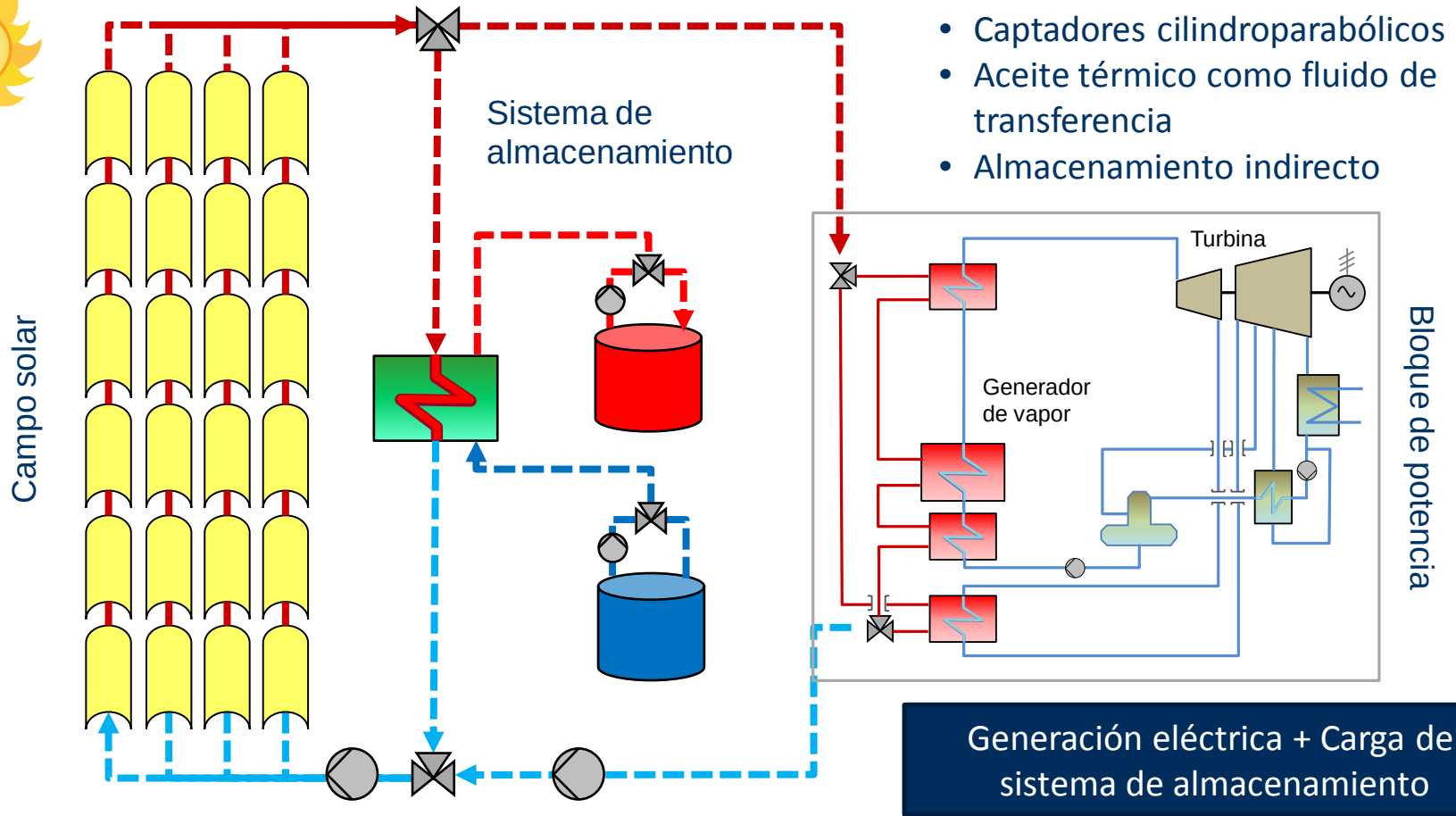
- El fluido de transferencia (HTF) y el medio de almacenamiento son distintos
- HTF: aceite
- Medio de almacenamiento: sal solar
- Es necesario un intercambiador aceite/sal



Almacenamiento directo

- El fluido de transferencia (HTF) es también el medio de almacenamiento: sal solar
- No es necesario un intercambiador aceite/sal
- El fluido siempre pasa por los tanques de almacenamiento

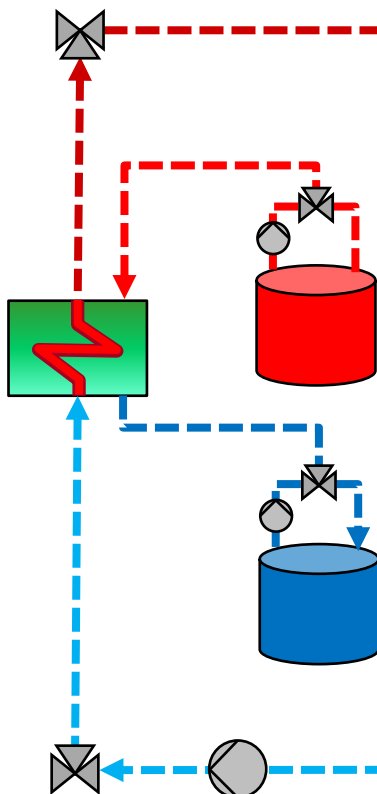
Sistema de doble tanque: proceso de carga



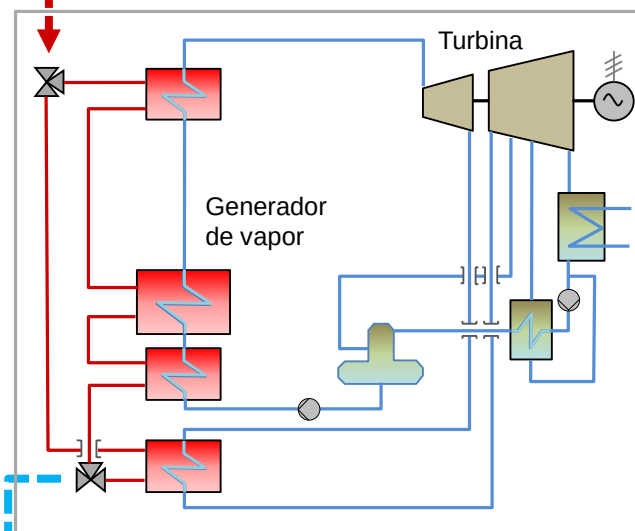
Sistema de doble tanque: proceso de descarga



Sistema de almacenamiento



Bloque de potencia



El sistema de almacenamiento alimenta el bloque de potencia

Centrales termosolares con CCPs

Complejo Extresol (Badajoz)



- 50 MW_e
- HTF: aceite VP1 (293°-393°C)
- Almacenamiento indirecto: 7.5 h, sales fundidas en 2 tanques
 - A presión atmosférica
 - Ø= 36 m x H=14 m
 - 28000 Ton de sal

Complejo Andasol (Granada)



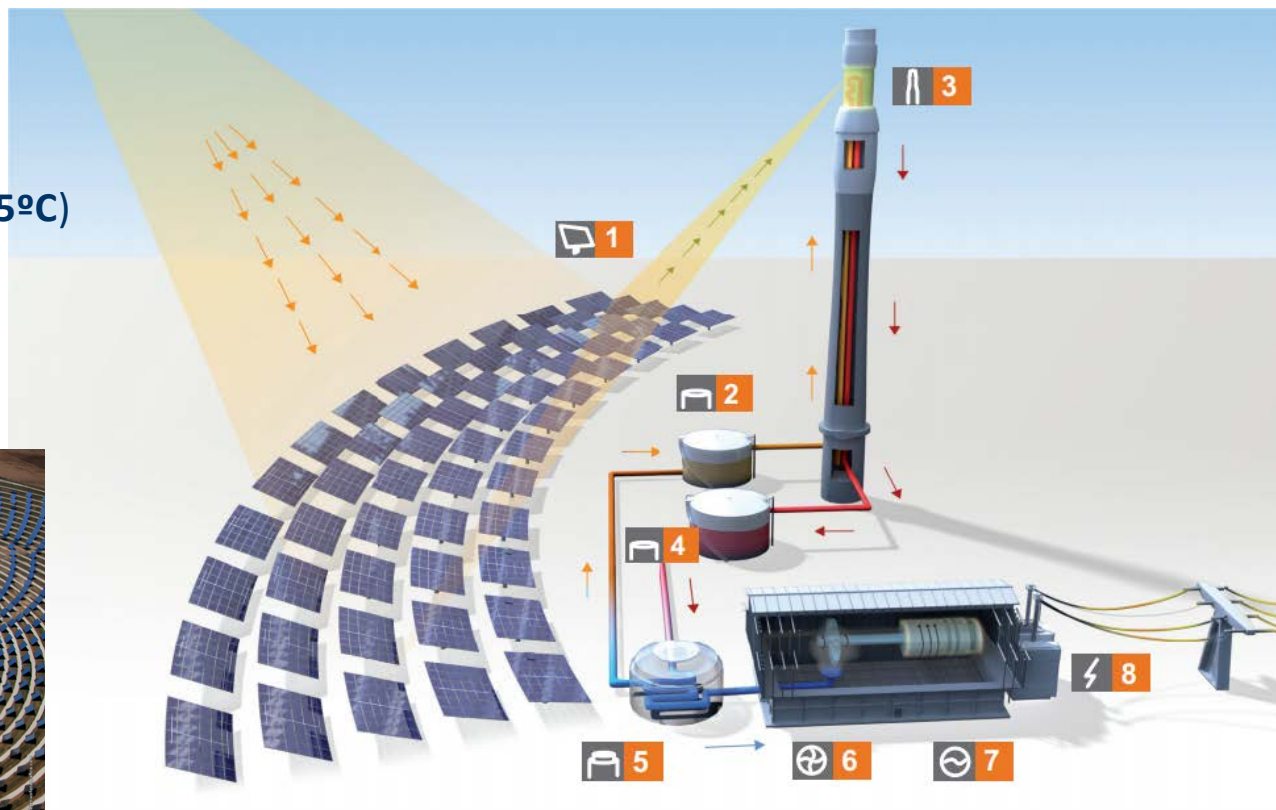
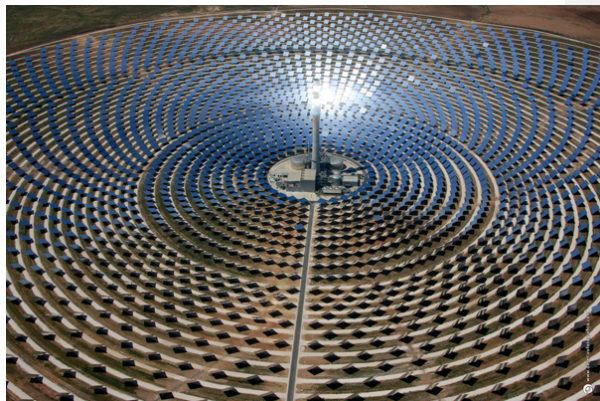
<http://www.grupocobra.com/business/subarea/solar/>

16

Central de torre con receptor de sales

GEMASOLAR

- Fuentes de Andalucía (Sevilla)
- Torresol Energy
- 20 MW_e
- Tecnología de Torre (140m)
- Campo circular
- HTF: sales fundidas (290°-565°C)
- Almacenamiento directo:
 - 15 h, 2 tanques
 - $\varnothing = 23 \text{ m} \times H = 10.5 \text{ m}$
 - 8500 Ton de sal



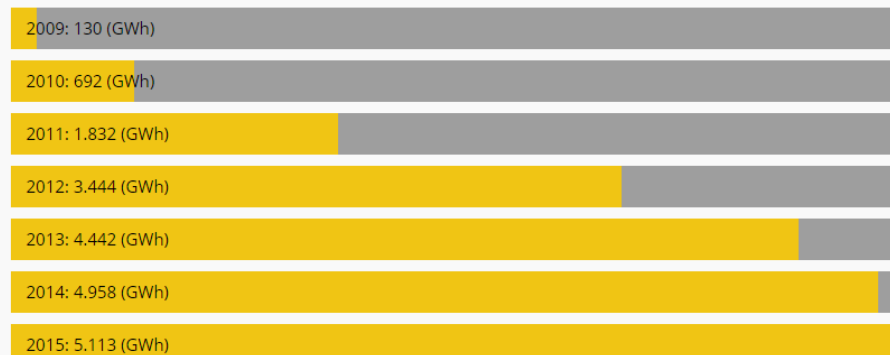
<http://www.torresolenergy.com/TORRESOL/inicio/es>

Funcionamiento de las centrales termosolares en España

Hitos en Diciembre de 2015*

- Centrales en operación: 50
- 88% con CCP y 50 MW_e
- 21 con almacenamiento en sales fundidas: 7.5-9-15 h
- Potencia en operación 2.300 MW_e
- Andalucía, Extremadura, CLM, Murcia

PRODUCCIÓN ANUAL (GWh)



(*) <http://www.protermosolar.com/honorificos/el-sector-en-cifras/>

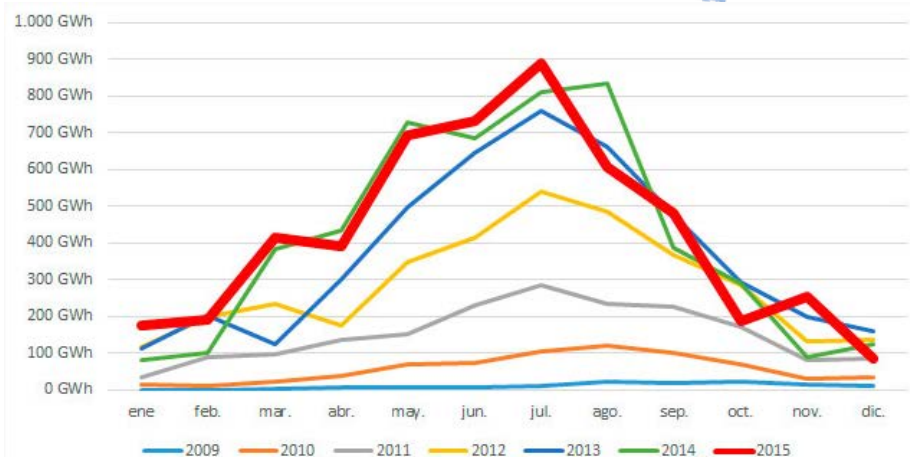
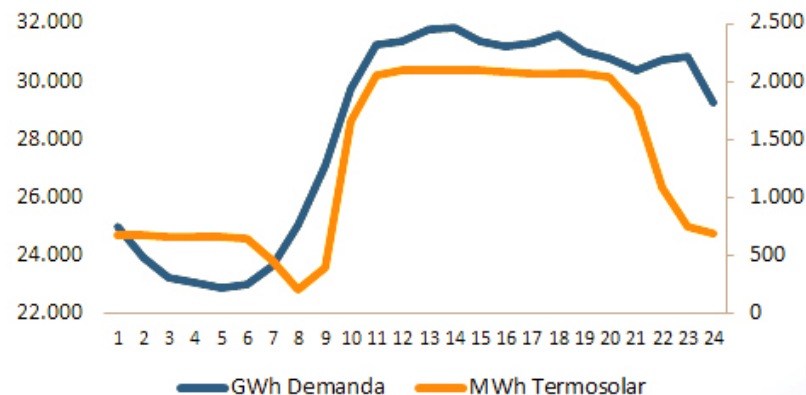
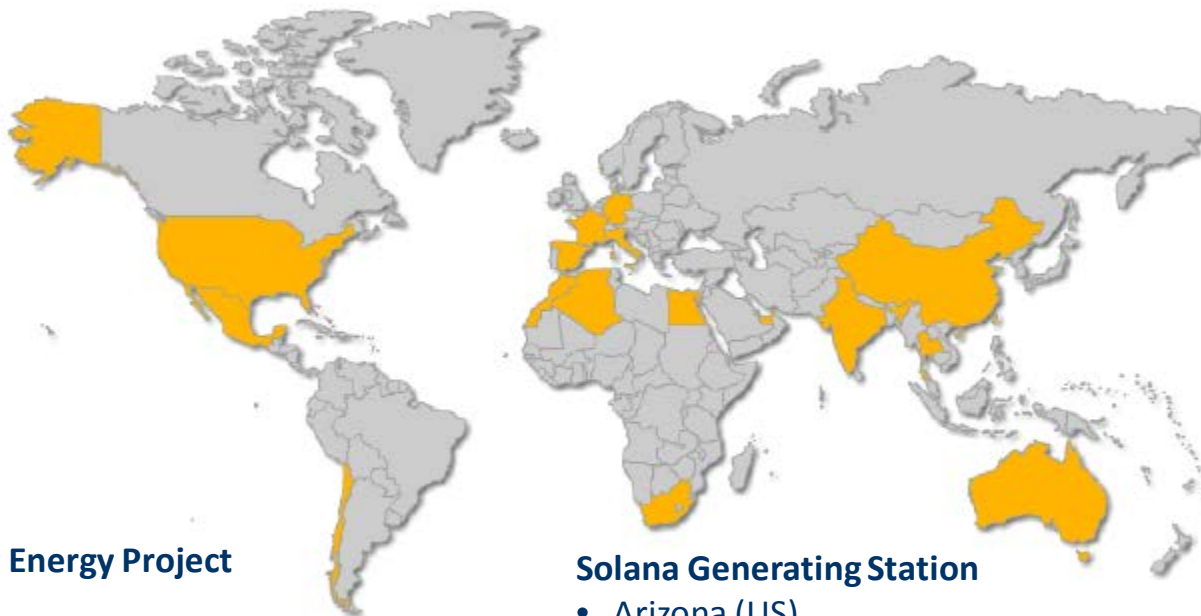


Grafico del 30 Junio 2014



Termosolar en el resto del mundo

http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/by_country.cfm



Crescent Dunes Solar Energy Project

- Nevada (US)
- Dueño: Solar Reserve's Tonopah Solar Energy, LLC
- EPC: Cobra
- **110 MW_e**
- Tecnología de **torre** con campo circular
- HTF: sales fundidas (287º-565ºC)
- **Almacenamiento directo**: 10 h, 2 tanques

<http://www.solarreserve.com/what-we-do/csp-projects/crescent-dunes/>

Solana Generating Station

- Arizona (US)
- **Dueño: Abengoa Solar**
- EPC: Abener
- **250 MW_e**
- Tecnología de **cilindroparabólicos**
- HTF: aceite VP1 (290º-380ºC)
- **Almacenamiento indirecto**: 6 h, sales fundidas , 2 tanques

<http://www.abengoasolar.com/>

19



Almacenar electricidad en las sales fundidas
Sevilla, Febrero de 2016



MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD

Ciemat

Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas

Conclusiones



- ✓ Gracias al almacenamiento térmico la **termosolar** es la única tecnología renovable **totalmente gestionable**, que proporciona estabilidad de red, con capacidad suficiente para cubrir las necesidades mundiales y ayudar en un futuro a conseguir una generación eléctrica libre de emisiones de GEI
- ✓ Sistema de **almacenamiento comercial**: doble tanque con sales fundidas con fiabilidad demostrada tanto en almacenamiento indirecto como directo
- ✓ Las **empresas españolas** son **líderes mundiales** en el diseño, la ingeniería, la construcción, la operación y el mantenimiento de este tipo de centrales: EPC y/o propietarias de centrales en todo el mundo

