

Real
Sociedad
Española de
Física

R.S.E.F.



UNIVERSIDAD
DE SALAMANCA

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

Generación sostenible de energía mediante plantas de concentración solar

Martes, 5 de noviembre, 13:00 h.
Aula III (edificio Trilingüe)

Rosa Merchán

Área de Física Aplicada
Dpto. de Física Aplicada

Grupo de Investigación en Optimización Energética, Termodinámica y Física Estadística (GTFE)



ÍNDICE

- 1 Introducción.
 - Energías renovables.
 - Energía termosolar.
 - Tipos de energía termosolar.

- 2 Principal línea de investigación.
 - Bloque solar.
 - Bloque de potencia.

- 3 Otras líneas de investigación.

Agotamiento de los recursos



Cambio climático



Destrucción ecosistemas

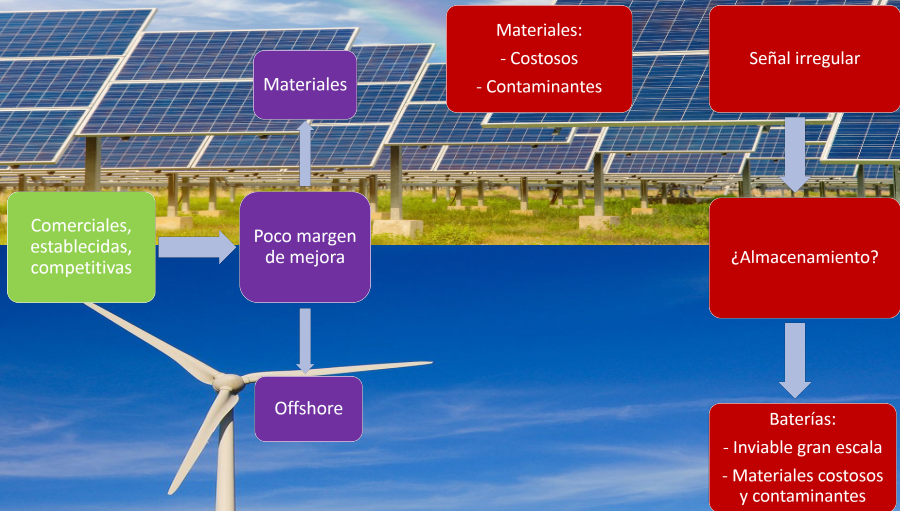


Energía renovable y "limpia"

ENERGÍAS RENOVABLES



ENERGÍAS RENOVABLES



ENERGÍA TERMOSOLAR

Almacenamiento térmico:

- Baterías
- Materiales no escasos y no contaminantes

Operación flexible:

- Potencia constante
- Períodos con nubes o noche
- Curva demanda
- Integración otras energías renovables

Hibridación:

- Combustión fósil o biomasa

ENERGÍA TERMOSOLAR

Almacenamiento térmico:

- Baterías
- Materiales no escasos y no contaminantes



Operación flexible:

- Potencia constante
- Períodos con nubes o noche
- Curva demanda
- Integración otras energías renovables

Hibridación:

- Combustión fósil o biomasa



Espejos no contaminantes:

- Paneles fotovoltaicos

ENERGÍA TERMOSOLAR

Almacenamiento térmico:

- Baterías
- Materiales no escasos y no contaminantes



Operación flexible:

- Potencia constante
- Periodos con nubes o noche
- Curva demanda
- Integración otras energías renovables



Hibridación:

- Combustión fósil o biomasa

Espejos no contaminantes:

- Paneles fotovoltaicos

Pocas plantas a nivel comercial



+ I+D:

- + Eficiencia
- Costes

Electricidad generada más cara que convencional



Exposición Internacional de París de 1878



Reflector solar



Tecnología de
concentración
(CSP):
Elementos
comunes

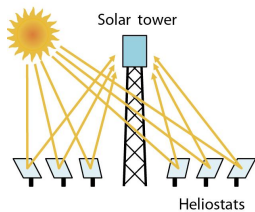
Receptor solar



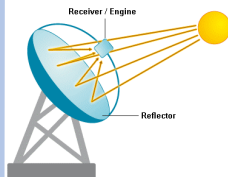
Sistema de conversión de potencia

TIPOS POR CONCENTRADOR

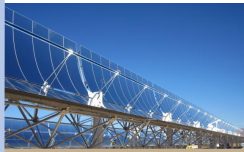
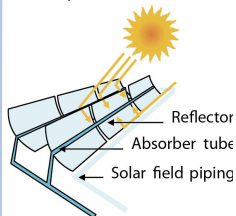
Torre central



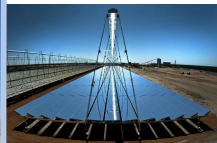
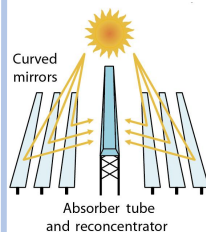
Discos parabólicos



Semicilindros parabólicos

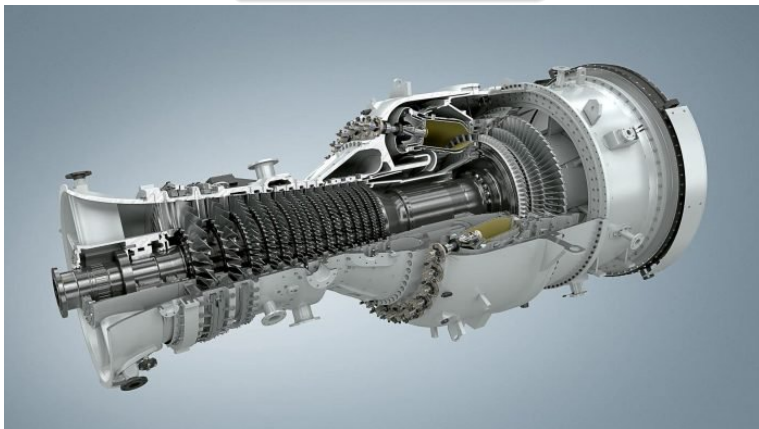


Lineal de Fresnel



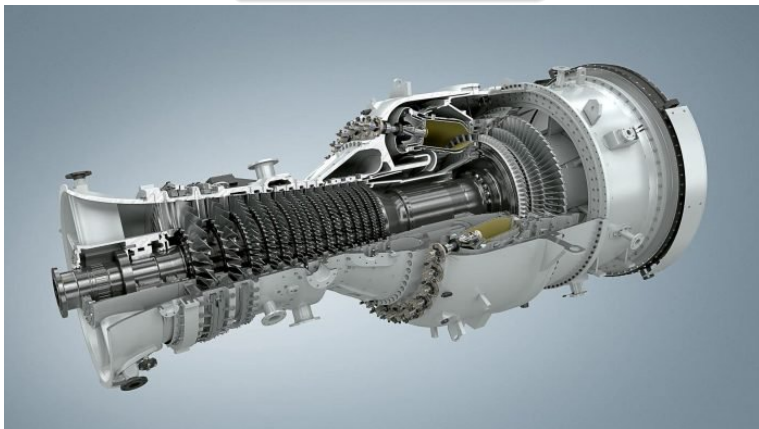
TIPOS POR CICLOS

Ciclo Brayton



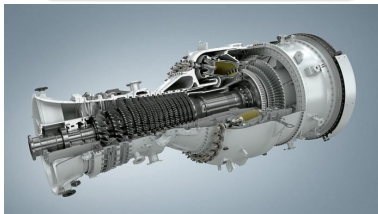
TIPOS POR CICLOS

Ciclo Brayton

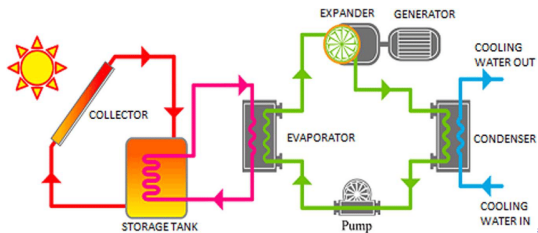


TIPOS POR CICLOS

Ciclo Brayton



Ciclo Rankine



TIPOS POR ALMACENAMIENTO / HIBRIDACIÓN

ALMACENAMIENTO

Sales fundidas



Rocas



TIPOS POR ALMACENAMIENTO / HIBRIDACIÓN

ALMACENAMIENTO

Sales fundidas



Rocas



HIBRIDACIÓN

Combustible fósil (gas natural)



Biogás

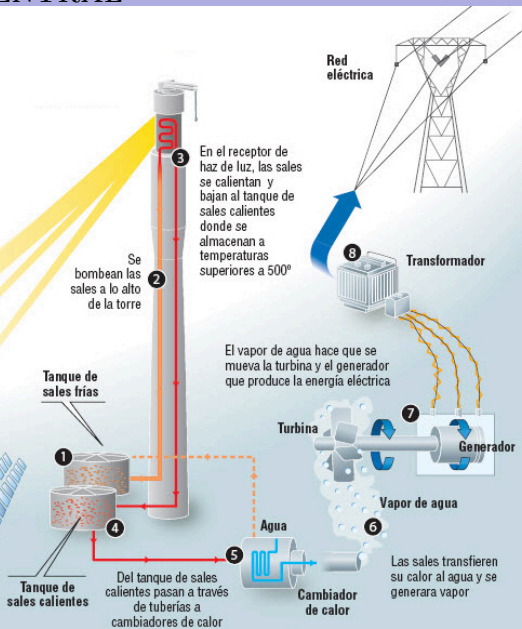


SISTEMAS DE TORRE CENTRAL

FUNCIONAMIENTO

Luz solar

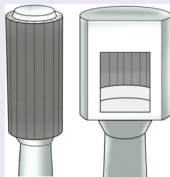
La luz solar incide sobre los heliostatos reflejándola hacia el receptor



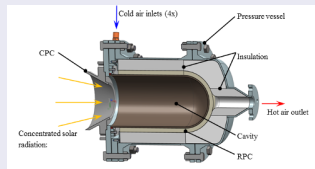
TIPOS DE RECEPTORES

APERTURA

Externos



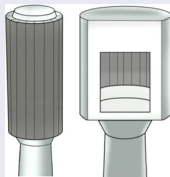
Cavidad



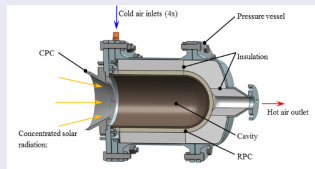
TIPOS DE RECEPTORES

APERTURA

Externos

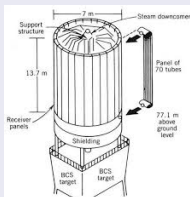


Cavidad

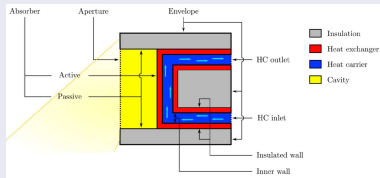


ABSORCIÓN DE CALOR

Tubulares



Volumétricos



Reducción de las emisiones contaminantes (efecto invernadero)

Energías renovables

Energía termosolar

Centrales termosolares de concentración (CSP)

Sistemas de torre central

Bloque solar

Bloque de potencia

Reducción de las emisiones contaminantes (efecto invernadero)

Energías renovables

Energía termosolar

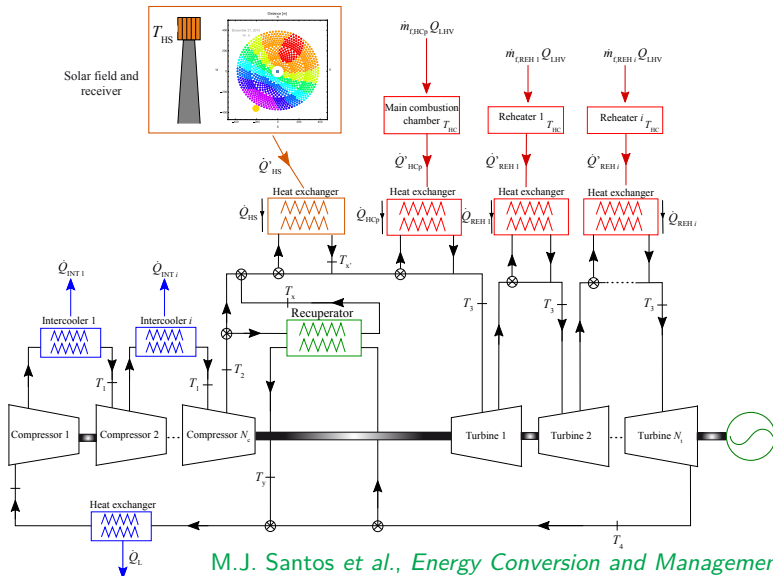
Centrales termosolares de concentración (CSP)

Sistemas de torre central

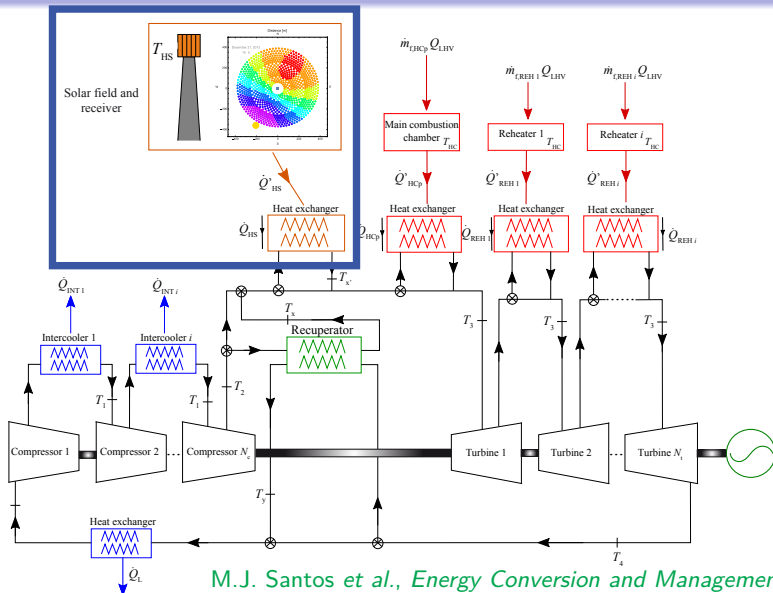
Bloque solar

Bloque de potencia

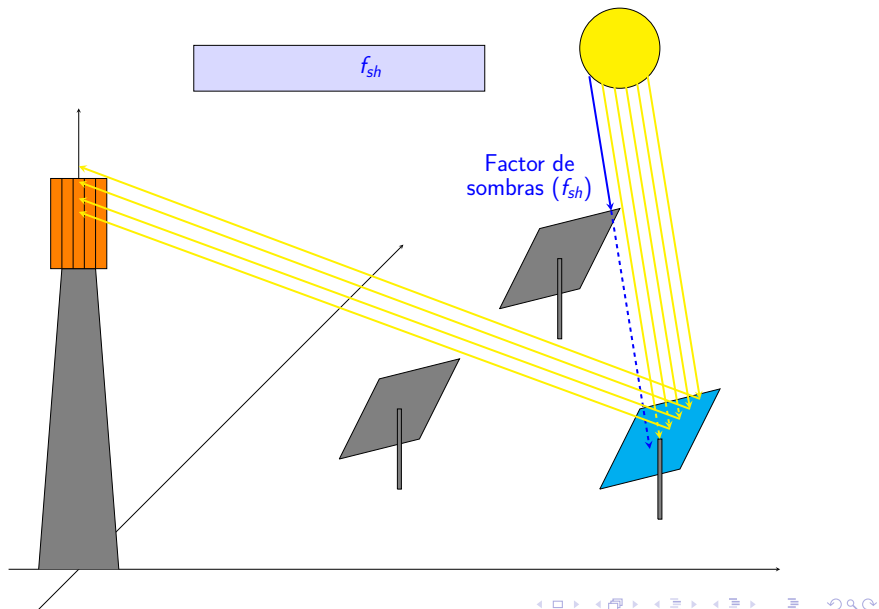
ESQUEMA DE LA PLANTA



ESQUEMA DE LA PLANTA: COLECTOR SOLAR

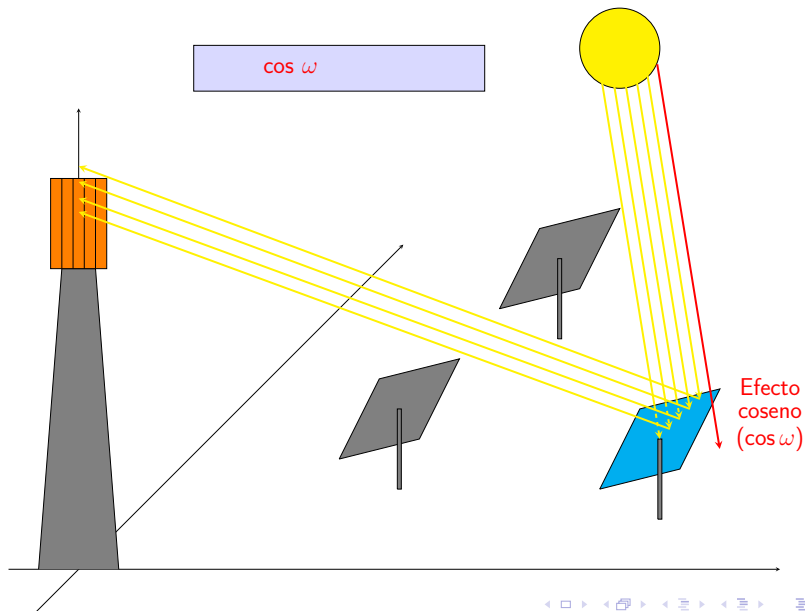


FACTOR DE SOMBRAS



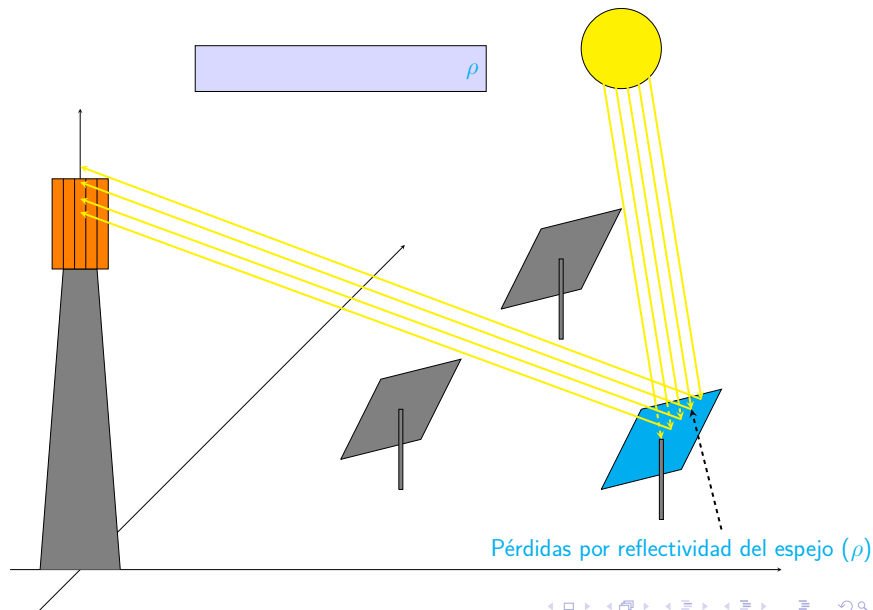


EFFECTO COSENO



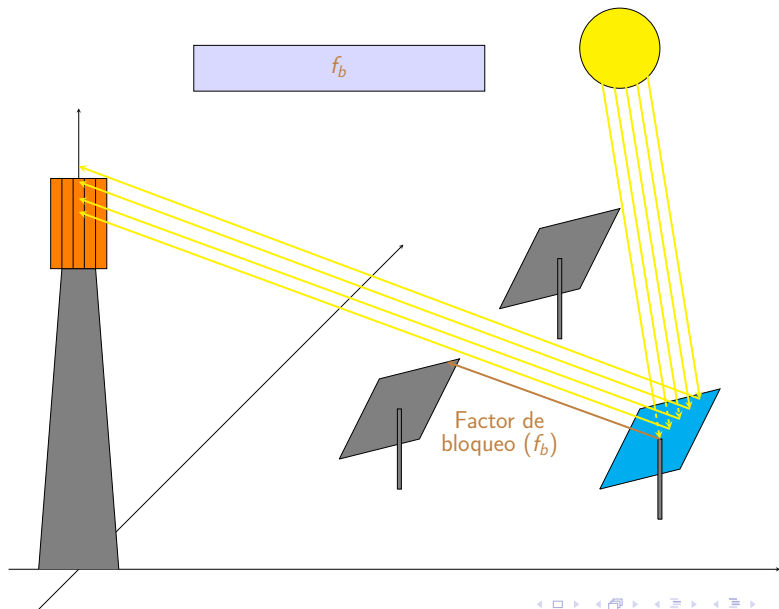


REFLECTIVIDAD DEL ESPEJO



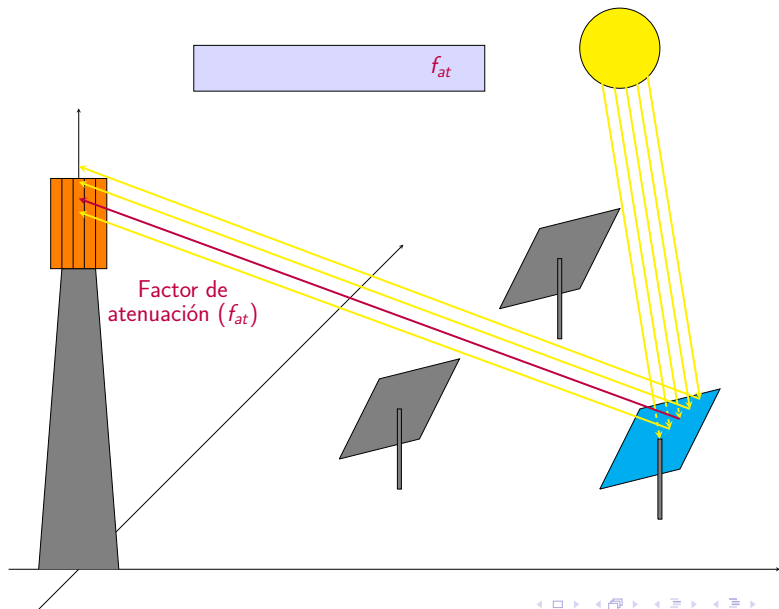


FACTOR DE BLOQUEO



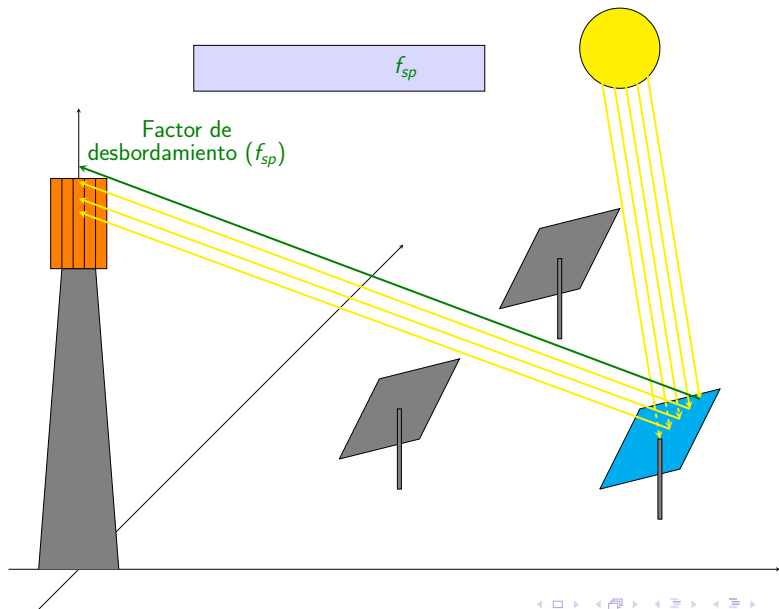


FACTOR DE ATENUACIÓN



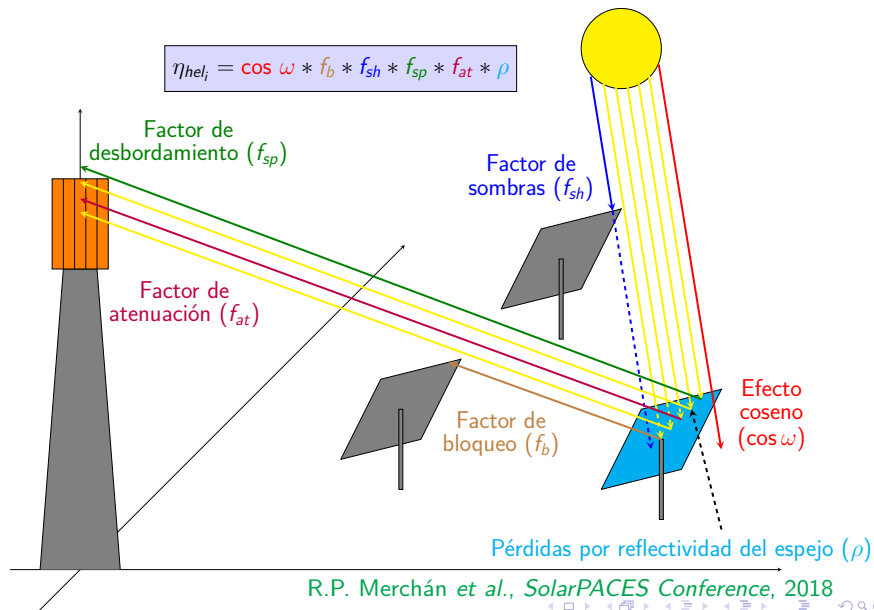


FACTOR DE DESBORDAMIENTO





EFICIENCIA HELIOSTATO












DATOS DEL CAMPO SOLAR: GEMASOLAR

	Parámetro	Valor
Torre	Altura	150 <i>m</i>
	Apuntamiento	Simple
Receptor	Altura	10,5 <i>m</i>
	Diámetro	8,4 <i>m</i>
Heliostatos	Área	120 <i>m</i> ²
	Altura	10,95 <i>m</i>
	Relación altura-anchura	1,0
Campo	Distancia de separación	3,285 <i>m</i>
	Radio mínimo	65 <i>m</i>
	Número de filas	19
Eficiencia	Factor de sombras - bloqueos	0,95
	Reflectividad real	0,836

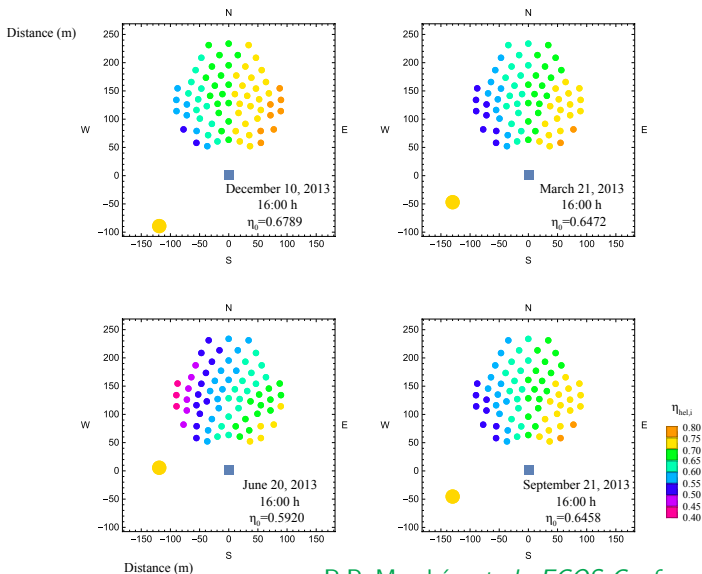
J.I. Burgaleta *et al.*, *Torresol Energy*, 2011

EFICIENCIA DEL CAMPO DE HELIOSTATOS: HORARIA

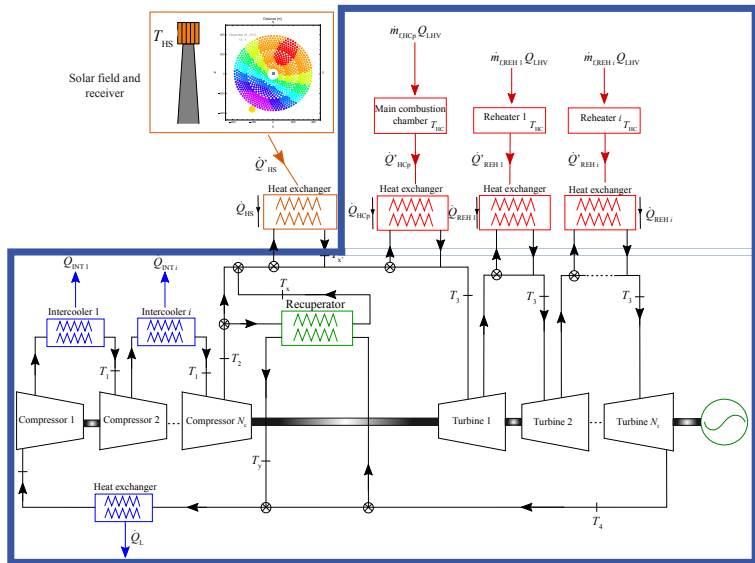
Eficiencia del campo de heliostatos

0.60 > Efficiency \geq 0.55 \Rightarrow	
0.55 > Efficiency \geq 0.50 \Rightarrow	
0.50 > Efficiency \geq 0.45 \Rightarrow	
0.45 > Efficiency \geq 0.40 \Rightarrow	
0.40 > Efficiency \geq 0.35 \Rightarrow	
0.35 > Efficiency \geq 0.30 \Rightarrow	
0.30 > Efficiency \geq 0.25 \Rightarrow	
0.25 > Efficiency \geq 0.20 \Rightarrow	
0.20 > Efficiency \geq 0.15 \Rightarrow	
0.15 > Efficiency \geq 0.10 \Rightarrow	
0.10 > Efficiency \geq 0.05 \Rightarrow	
0.05 > Efficiency \geq 0.00 \Rightarrow	

EFICIENCIA DEL CAMPO DE HELIOSTATOS: ESTACIONAL



ESQUEMA DE LA PLANTA: MÁQUINA TÉRMICA



M.J. Santos et al., *Energy Conversion and Management*, 2018

FLUIDOS DE TRABAJO

FLUIDOS DE TRABAJO

- Ciclo subcrítico: Aire seco, N_2 y CO_2 .
- Ciclo transcrito: He.

DIAGRAMA P-T

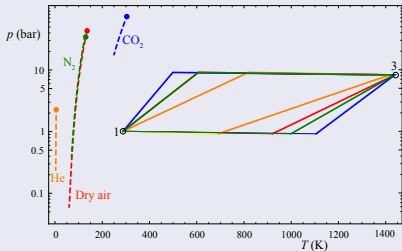
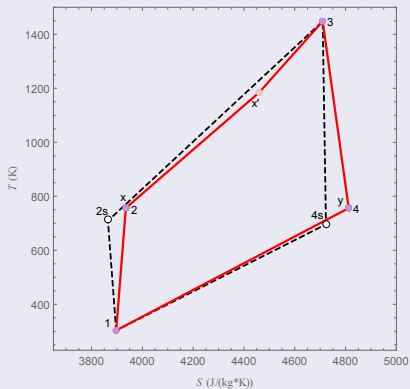
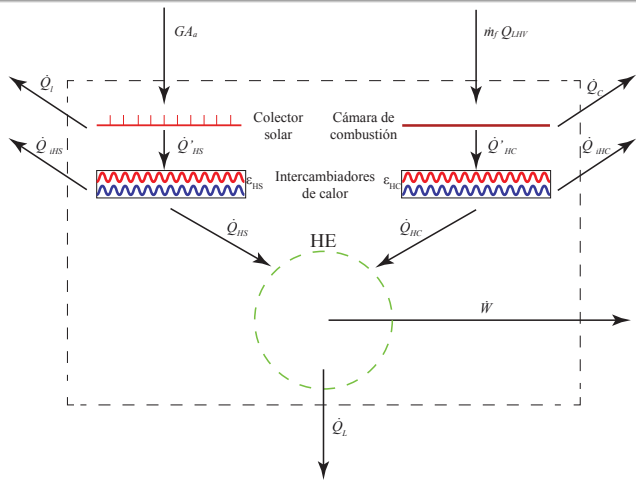
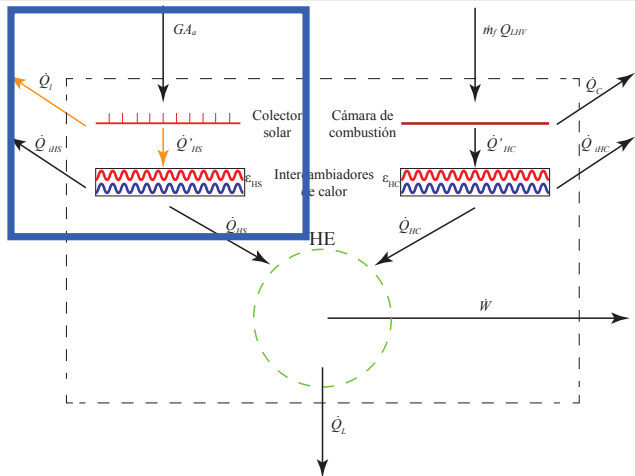


DIAGRAMA T-S (AIRE SECO)

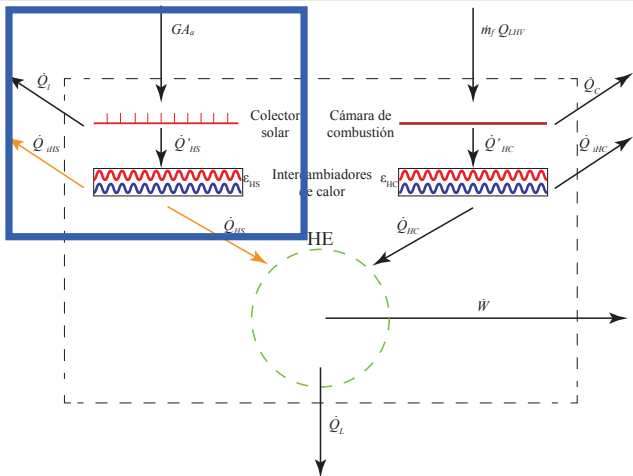






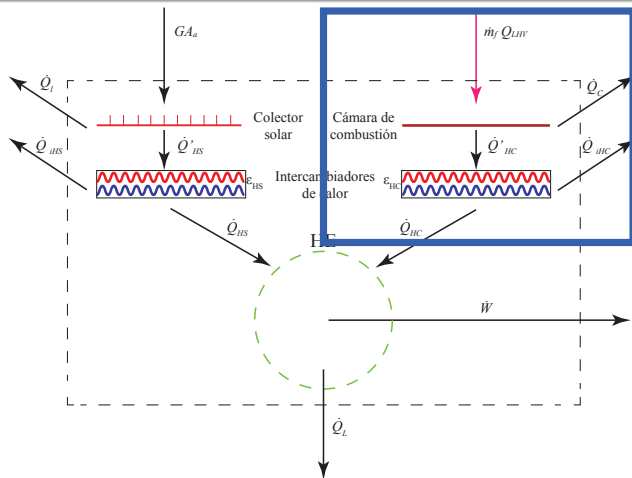
EFICIENCIAS

$$\eta_s = \frac{|\dot{Q}_{HS}|/\epsilon_{HS}}{GA_s}$$



EFICIENCIAS

$$\eta_s = \frac{|\dot{Q}_{HS}|/\epsilon_{HS}}{GA_s}$$



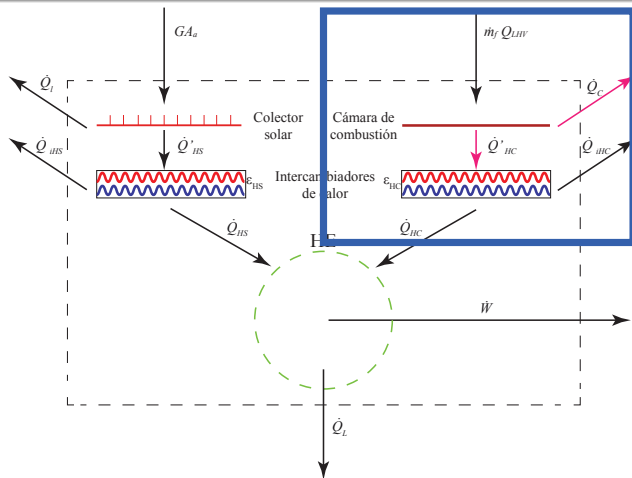
EFICIENCIAS

$$\dot{m}_f = \dot{m}_{fp} + \sum_{n=1}^{N_t-1} \dot{m}_{fi}$$

$$\eta_s = \frac{|\dot{Q}_{HS}|/\epsilon_{HS}}{G A_a}$$

$$\eta_{cp} = \frac{|\dot{Q}_{HCp}|/\epsilon_{HCp}}{\dot{m}_{fp} Q_{LHV}}$$

$$\eta_{ci} = \frac{|\dot{Q}_{rehi}|/\epsilon_{rehi}}{\dot{m}_{fi} Q_{LHV}}$$



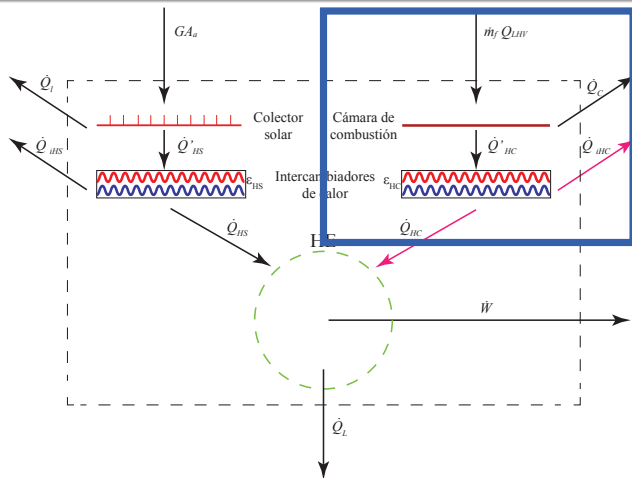
EFICIENCIAS

$$\dot{m}_f = \dot{m}_{fp} + \sum_{n=1}^{N_t-1} \dot{m}_{fi}$$

$$\eta_s = \frac{|\dot{Q}_{HS}|/\epsilon_{HS}}{G A_a}$$

$$\eta_{cp} = \frac{|\dot{Q}_{HCp}|/\epsilon_{HCp}}{\dot{m}_{fp} Q_{LHV}}$$

$$\eta_{ci} = \frac{|\dot{Q}_{rehi}|/\epsilon_{rehi}}{\dot{m}_{fi} Q_{LHV}}$$



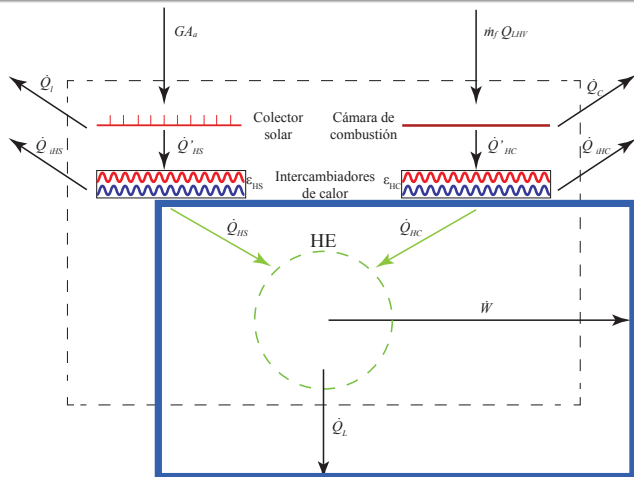
EFICIENCIAS

$$\dot{m}_f = \dot{m}_{fp} + \sum_{n=1}^{N_t-1} \dot{m}_{fi}$$

$$\eta_s = \frac{|\dot{Q}_{HS}|/\epsilon_{HS}}{G A_a}$$

$$\eta_{cp} = \frac{|\dot{Q}_{HCp}|/\epsilon_{HCp}}{\dot{m}_{fp} Q_{LHV}}$$

$$\eta_{ci} = \frac{|\dot{Q}_{rehi}|/\epsilon_{rehi}}{\dot{m}_{fi} Q_{LHV}}$$



EFICIENCIAS

$$\eta = \frac{P}{G A_a + \dot{m}_f Q_{LHV}}$$

$$\dot{m}_f = \dot{m}_{fp} + \sum_{n=1}^{N_t-1} \dot{m}_{fi}$$

$$\eta_s = \frac{|\dot{Q}_{HS}| / \epsilon_{HS}}{G A_a}$$

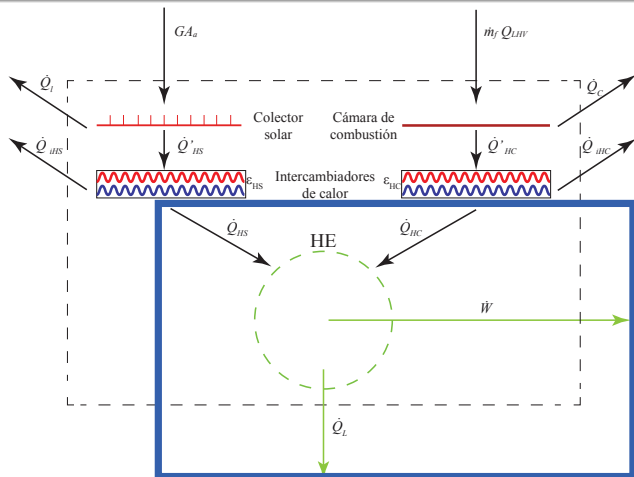
$$\eta_{cp} = \frac{|\dot{Q}_{HCp}| / \epsilon_{HCp}}{\dot{m}_f Q_{LHV}}$$

$$\eta_{ci} = \frac{|\dot{Q}_{rehi}| / \epsilon_{rehi}}{\dot{m}_f Q_{LHV}}$$

$$\eta_h = \frac{P}{|\dot{Q}_{HS}| + |\dot{Q}_{HC}|}$$

$$r_e = \frac{P}{\dot{m}_f Q_{LHV}}$$

$$f = \frac{|\dot{Q}_{HS}|}{|\dot{Q}_{HS}| + |\dot{Q}_{HC}|}$$



EFICIENCIAS

$$\eta = \frac{P}{G A_a + \dot{m}_f Q_{LHV}}$$

$$\dot{m}_f = \dot{m}_{fp} + \sum_{n=1}^{N_t-1} \dot{m}_{fi}$$

$$\eta_s = \frac{|\dot{Q}_{HS}| / \epsilon_{HS}}{G A_a}$$

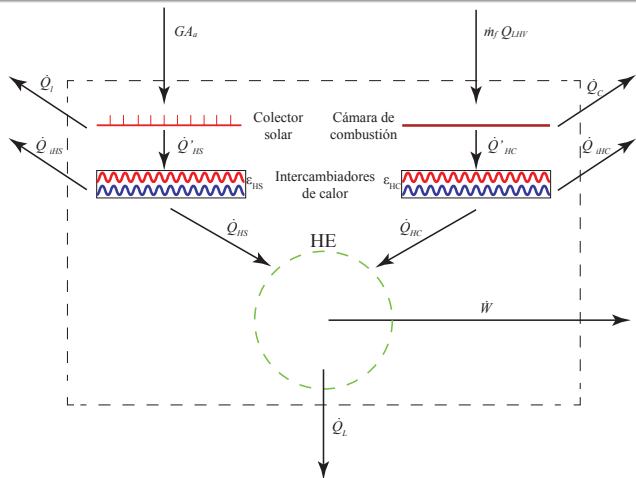
$$\eta_{cp} = \frac{|\dot{Q}_{HCp}| / \epsilon_{HCp}}{\dot{m}_f Q_{LHV}}$$

$$\eta_{ci} = \frac{|\dot{Q}_{rehi}| / \epsilon_{rehi}}{\dot{m}_f Q_{LHV}}$$

$$\eta_h = \frac{P}{|\dot{Q}_{HS}| + |\dot{Q}_{HC}|}$$

$$r_e = \frac{P}{\dot{m}_f Q_{LHV}}$$

$$f = \frac{|\dot{Q}_{HS}|}{|\dot{Q}_{HS}| + |\dot{Q}_{HC}|}$$



EFICIENCIA TÉRMICA GLOBAL

$$\eta = \eta_h \eta_s \eta_c \left[\frac{\epsilon_{HS} \epsilon_{HC}}{\eta_c f \epsilon_{HC} + \eta_s (1 - f) \epsilon_{HS}} \right]$$

EFICIENCIAS

$$\eta = \frac{P}{G A_s + \dot{m}_f Q_{LHV}}$$

$$\dot{m}_f = \dot{m}_{fp} + \sum_{n=1}^{N_t-1} \dot{m}_{fi}$$

$$\eta_s = \frac{|\dot{Q}_{HS}| / \epsilon_{HS}}{G A_s}$$

$$\eta_{cp} = \frac{|\dot{Q}_{HCp}| / \epsilon_{HCp}}{\dot{m}_{fp} Q_{LHV}}$$

$$\eta_{ci} = \frac{|\dot{Q}_{rehi}| / \epsilon_{rehi}}{\dot{m}_{fi} Q_{LHV}}$$

$$\eta_h = \frac{P}{|\dot{Q}_{HS}| + |\dot{Q}_{HC}|}$$

$$r_e = \frac{P}{\dot{m}_f Q_{LHV}}$$

$$f = \frac{|\dot{Q}_{HS}|}{|\dot{Q}_{HS}| + |\dot{Q}_{HC}|}$$

VALIDACIÓN DEL MODELO DE LA TURBINA



	Variable	Datos Thermostat®	Simulación Mathematica® (modelo)	Desviación relativa (%)
Entrada	Flujo de masa (kg/s)	67	67	—
	Relación de presiones	23,4	23,4	—
Salida	Potencia generada (MW)	21,20	20,91	-0,89
	Calor específico (kJ/kWh)	9256	9041	-2,33
	Eficiencia térmica	0,389	0,398	2,37
	Temperatura de entrada a la turbina (K)	1450	1451	0,04
	Temperatura de salida de la turbina (K)	736	758	2,95

PRE-OPTIMIZACIÓN

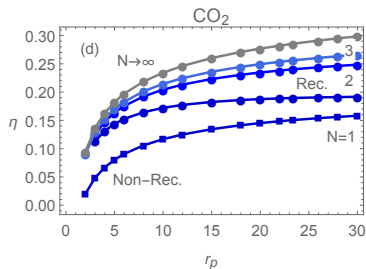
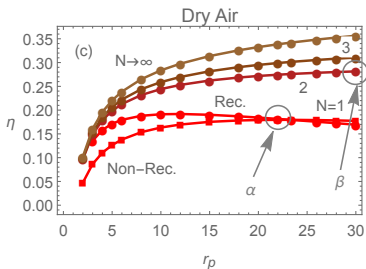
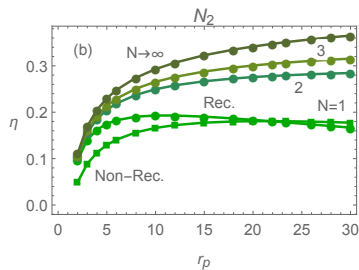
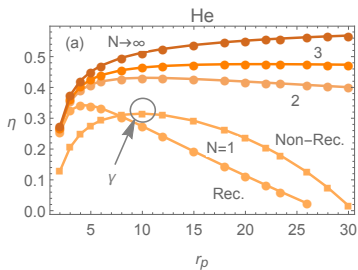
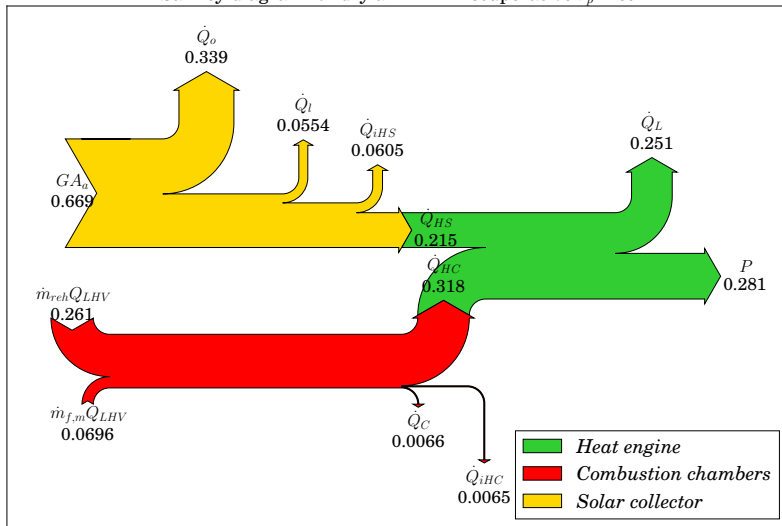
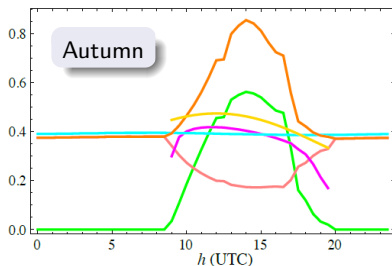
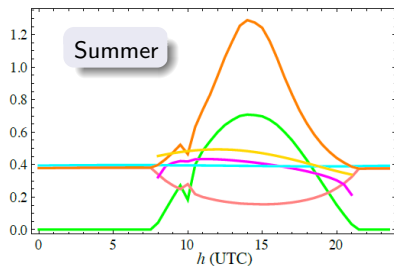
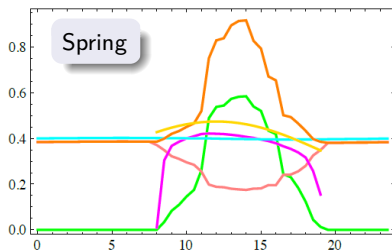
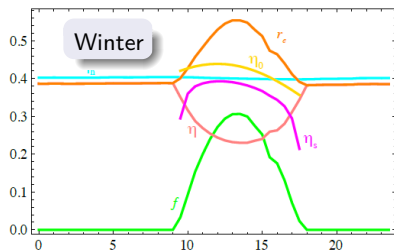


DIAGRAMA DE SANKEY

Sankey diagram for dry air $N = 2$ recuperative $r_p = 30$

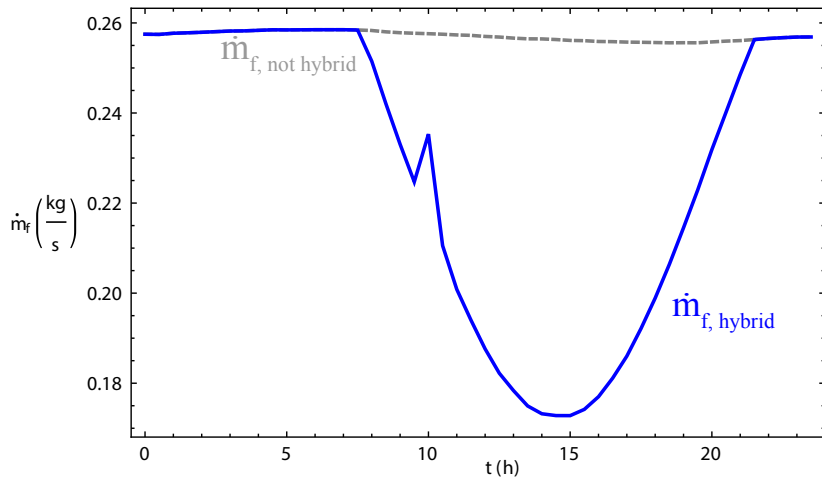


EVOLUCIÓN DIARIA

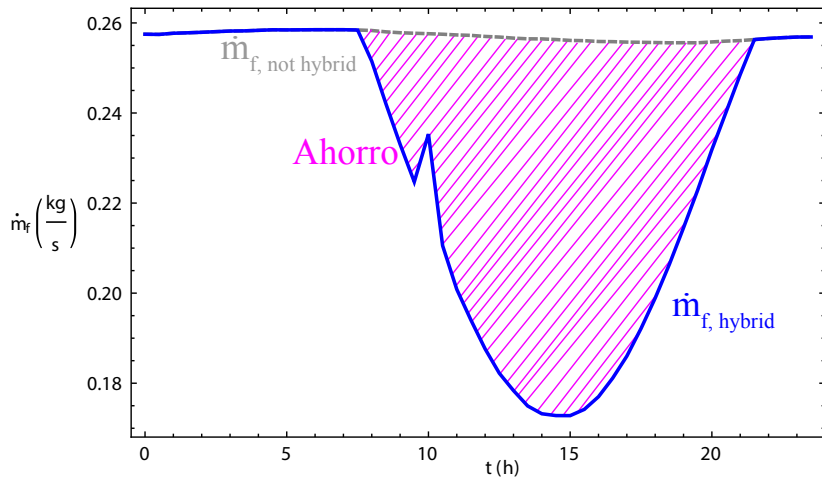


M.J. Santos et al., *Energy Conversion and Management*, 2016

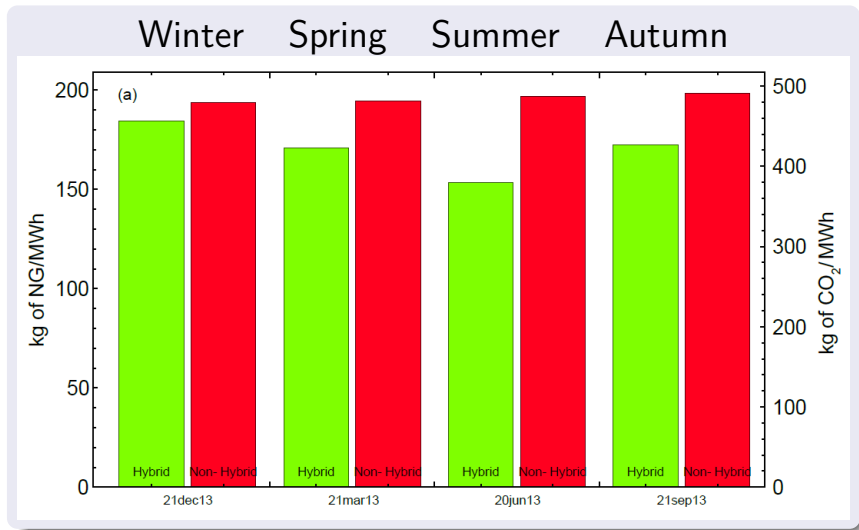
CONSUMO DE COMBUSTIBLE



CONSUMO DE COMBUSTIBLE



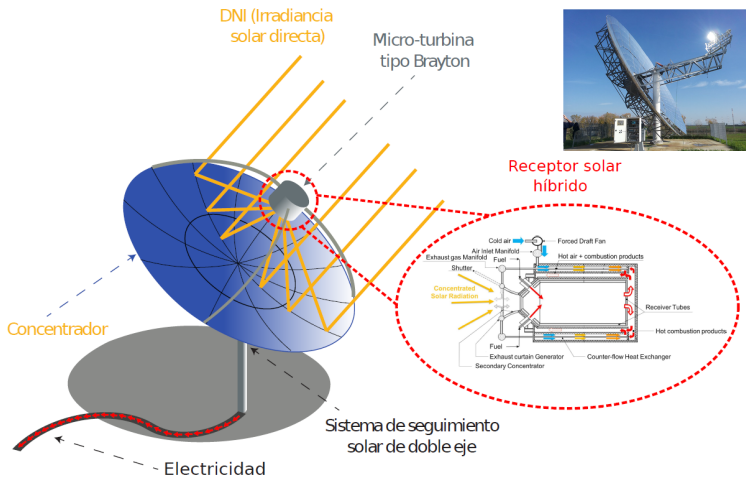
CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y EMISIONES



R.P. Merchán *et al.*, *Renewable Energy*, 2018

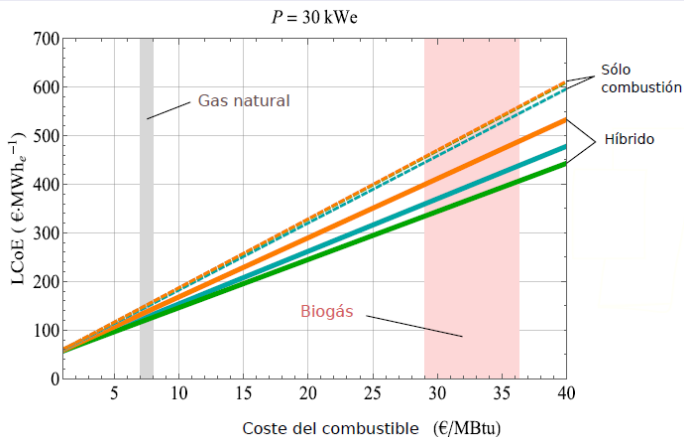
OTRAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Discos parabólicos



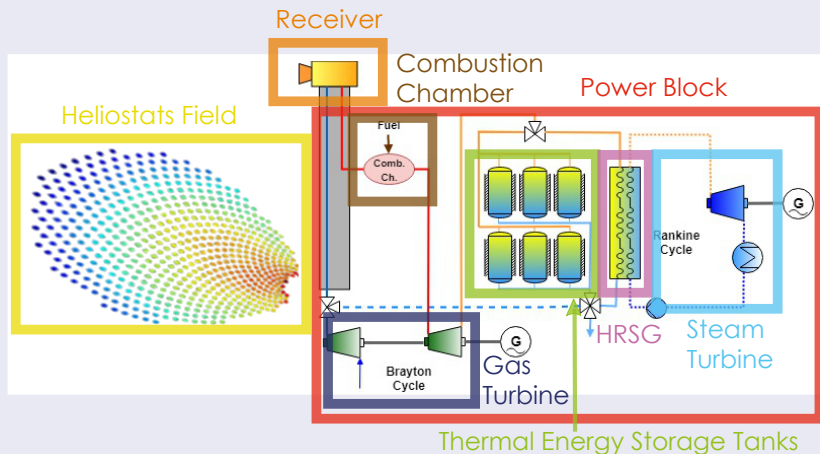
OTRAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Biogás



OTRAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Ciclos combinados (Brayton + Rankine) y almacenamiento térmico



OTRAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Ciclos combinados (Brayton + Rankine) y almacenamiento térmico



S. Trevisan et al., *SolarPACES Conference, 2019*

OTRAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

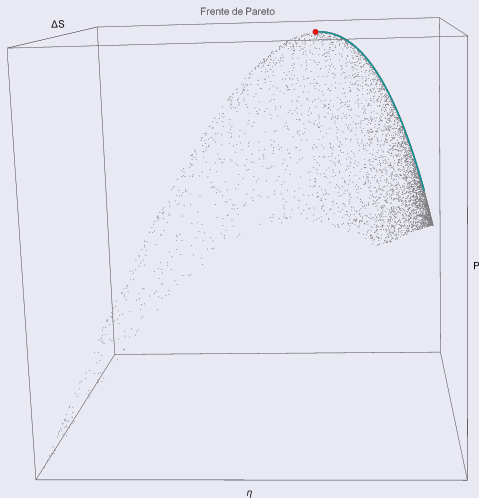
Ciclos combinados (Brayton + Rankine) y almacenamiento térmico



S. Trevisan et al., *SolarPACES Conference, 2019*

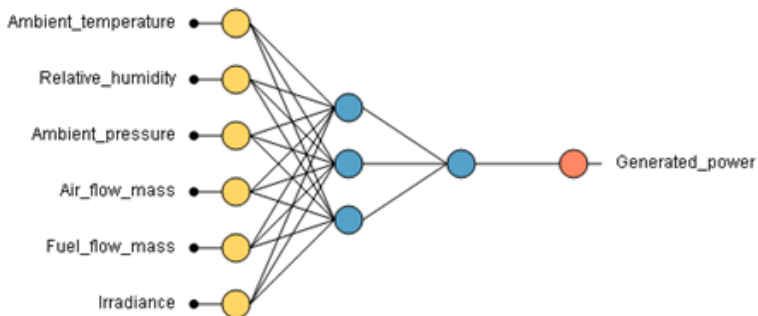
OTRAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Optimización multiobjetivo

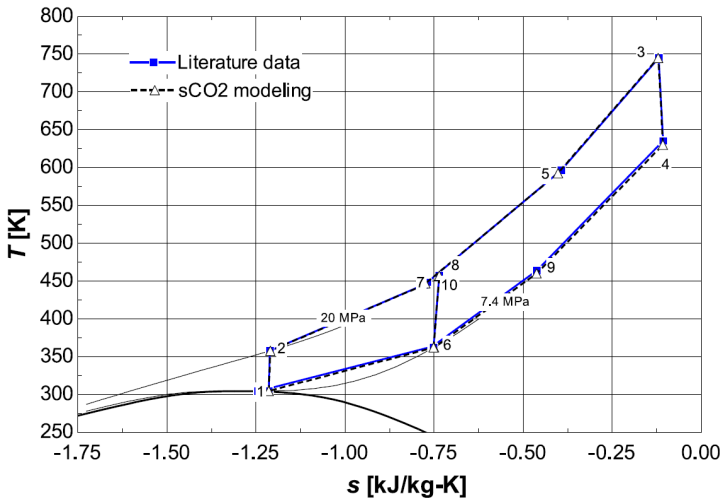


OTRAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Inteligencia artificial



OTRAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

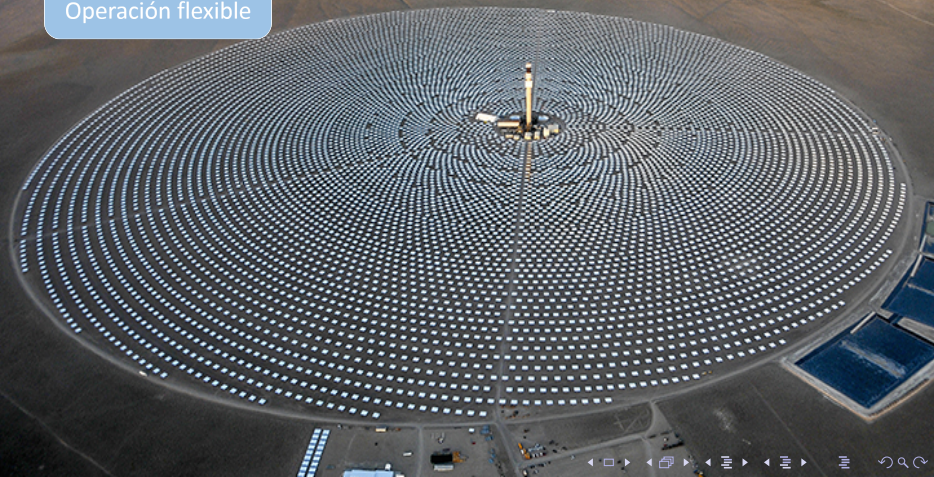
FUTURO: CO_2 supercrítico

CONCLUSIONES

Almacenamiento
térmico



Operación flexible



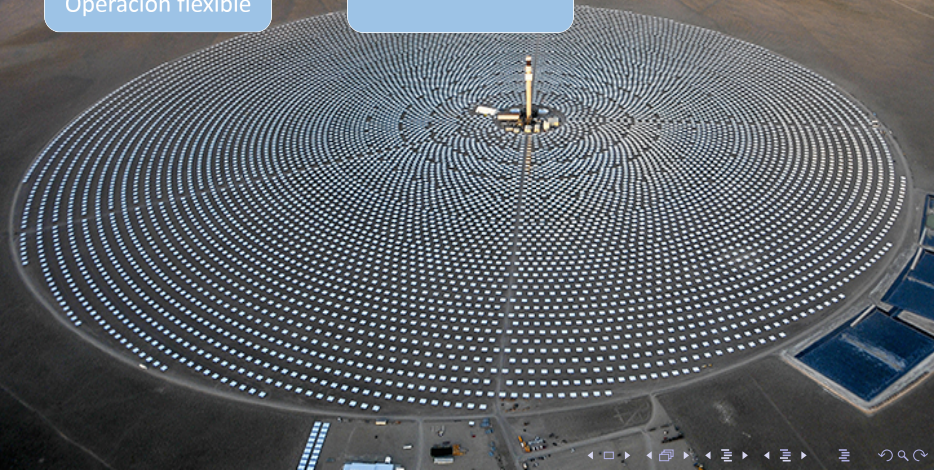
CONCLUSIONES

Almacenamiento
térmico



Operación flexible

Integración con
otros sistemas
renovables



CONCLUSIONES

Almacenamiento
térmico



Operación flexible

Integración con
otros sistemas
renovables

+ Investigación



+ Eficiencia, -
Costes