Jesús Gómez Hernández jegomez@ing.uc3m.es | uc3m | Universidad Carlos III de Madrid

Integración de la energía termosolar de concentración en la industria pesada: producción de asfaltos y secado de minerales

Solar Concentra

uc3m | Universidad Carlos III de Madrid

Jornada de Divulgación Técnica

Dr. Jesús Gómez Hernández (jegomez@ing.uc3m.es)

Energy System Engineering

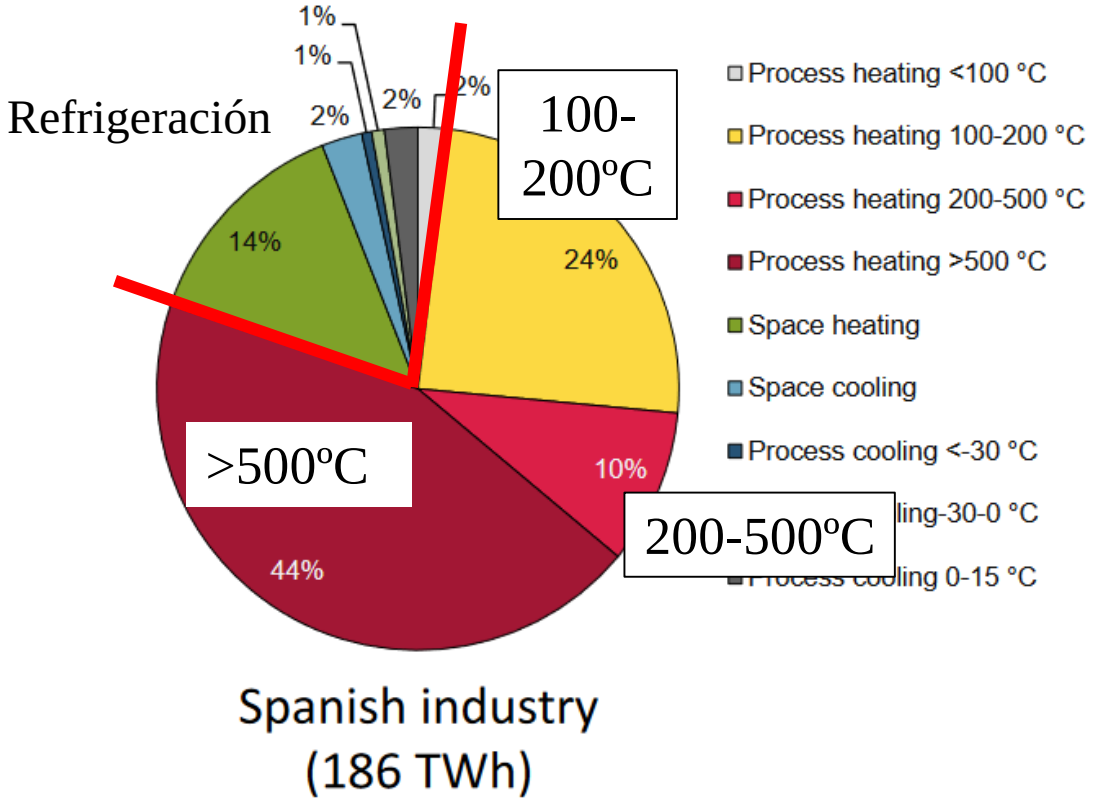
20 Enero 2023

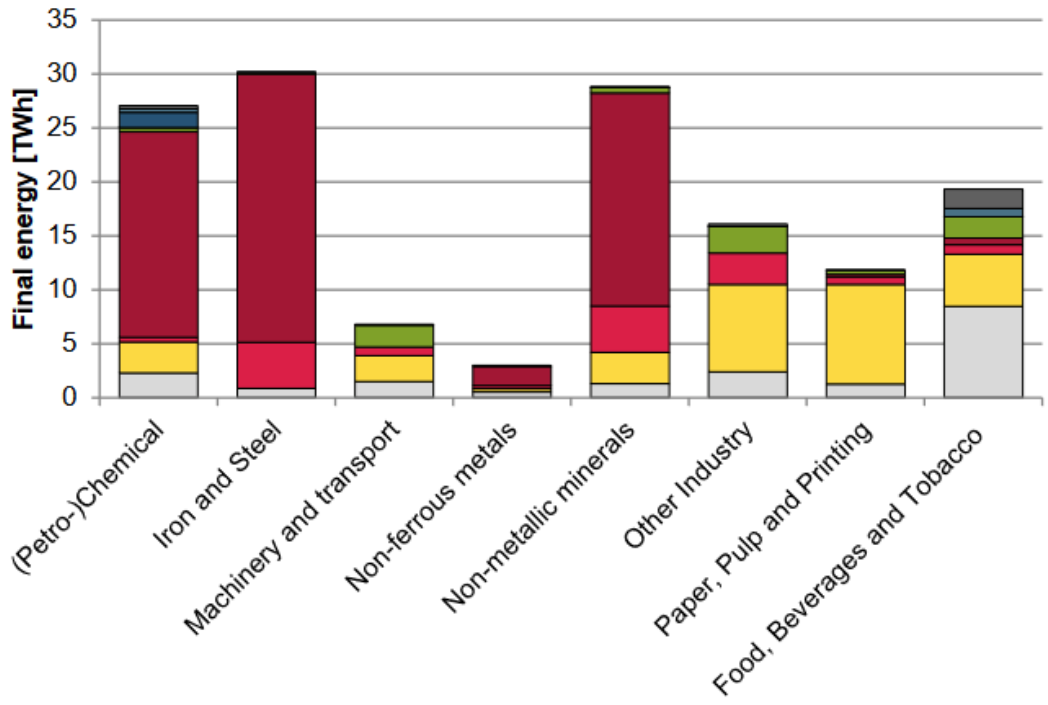
Contenidos

- Contexto & Objetivos
- Industrias objetivo
  - Plantas asfálticas
  - Producción de yeso
  - Impacto ambiental
- Tecnología Linear Beam-Down:
  - Fundamentos
  - Diseño
  - Impacto ambiental
- Trabajos futuros
- Prototipo a escala de laboratorio Linear beam-down
- Conclusiones

Contexto & Objetivos

- El sector industrial en España consume el 41% de la demanda energética total.

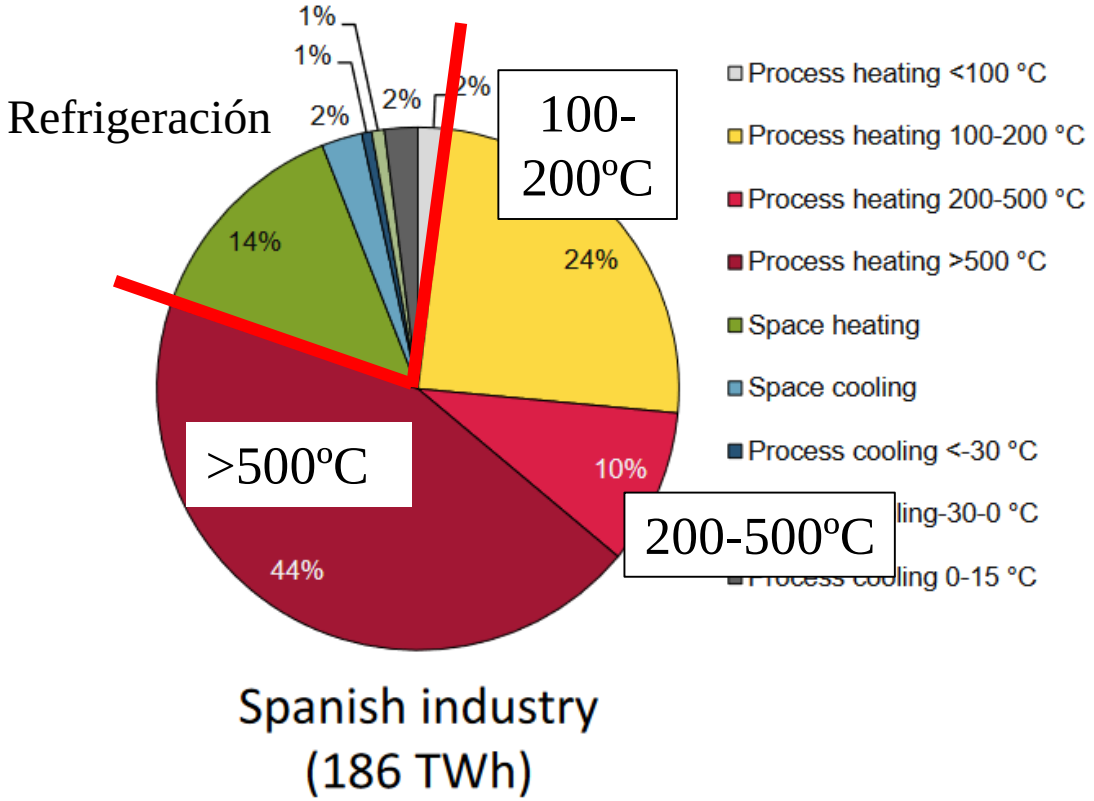


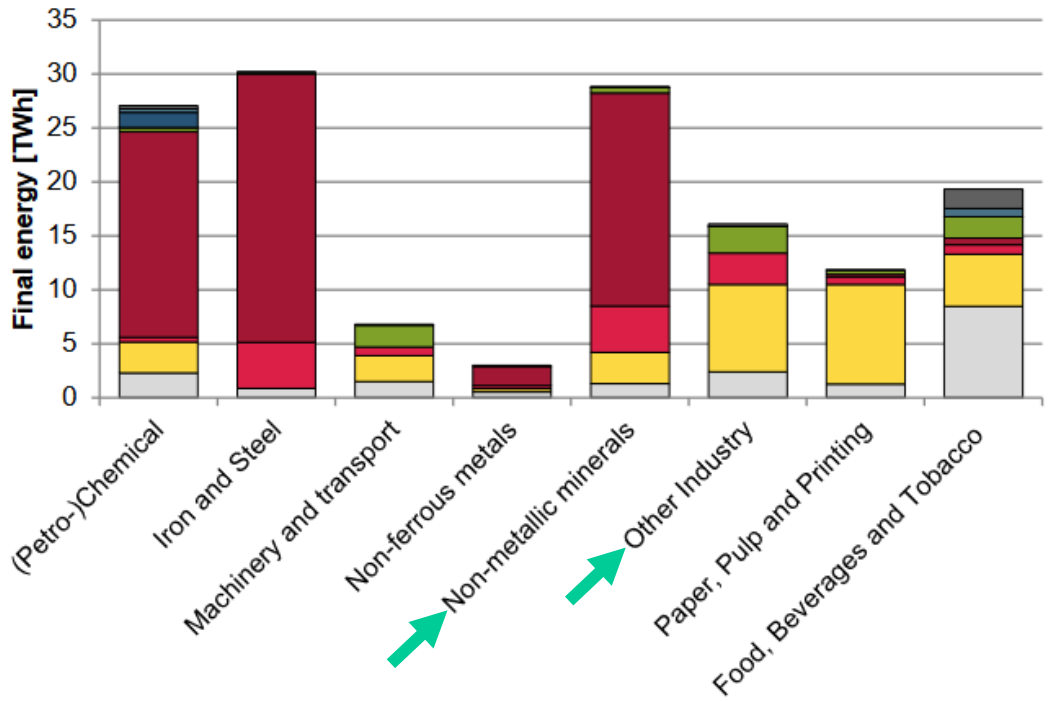


- Desarrollar una tecnología termosolar en el rango de **150 - 300ºC** para procesar **materiales pesados**:
  - Bajo impacto medioambiental.
  - Fácil integración con los procesos industriales existentes.
  - Bajos costes de instalación y mantenimiento.

Contexto & Objetivos

- El sector industrial en España consume el 41% de la demanda energética total.





- Desarrollar una tecnología termosolar en el rango de **150 - 300ºC** para procesar **materiales pesados**:
  - Bajo impacto medioambiental.
  - Fácil integración con los procesos industriales existentes.
  - Bajos costes de instalación y mantenimiento.

Industrias objetivo: plantas asfálticas

- La planta asfáltica más común es de tipo de mezcla en caliente (HMA).
- El pavimento asfáltico se produce mezclando betún precalentado, áridos, filler y RAP.

Betún (cemento asfáltico)

Calentado a T ~ 150ºC para facilitar su fluidez.

Áridos (arenas y gravas)

Necesario secar su humedad inicial (RH ~ 5%) para mejorar la calidad del asfalto.

Filler (material de relleno)

Polvo recogido en los filtros de la planta.

RAP (Fresado reciclado)
(Reclaimed Asphalt Pavement)

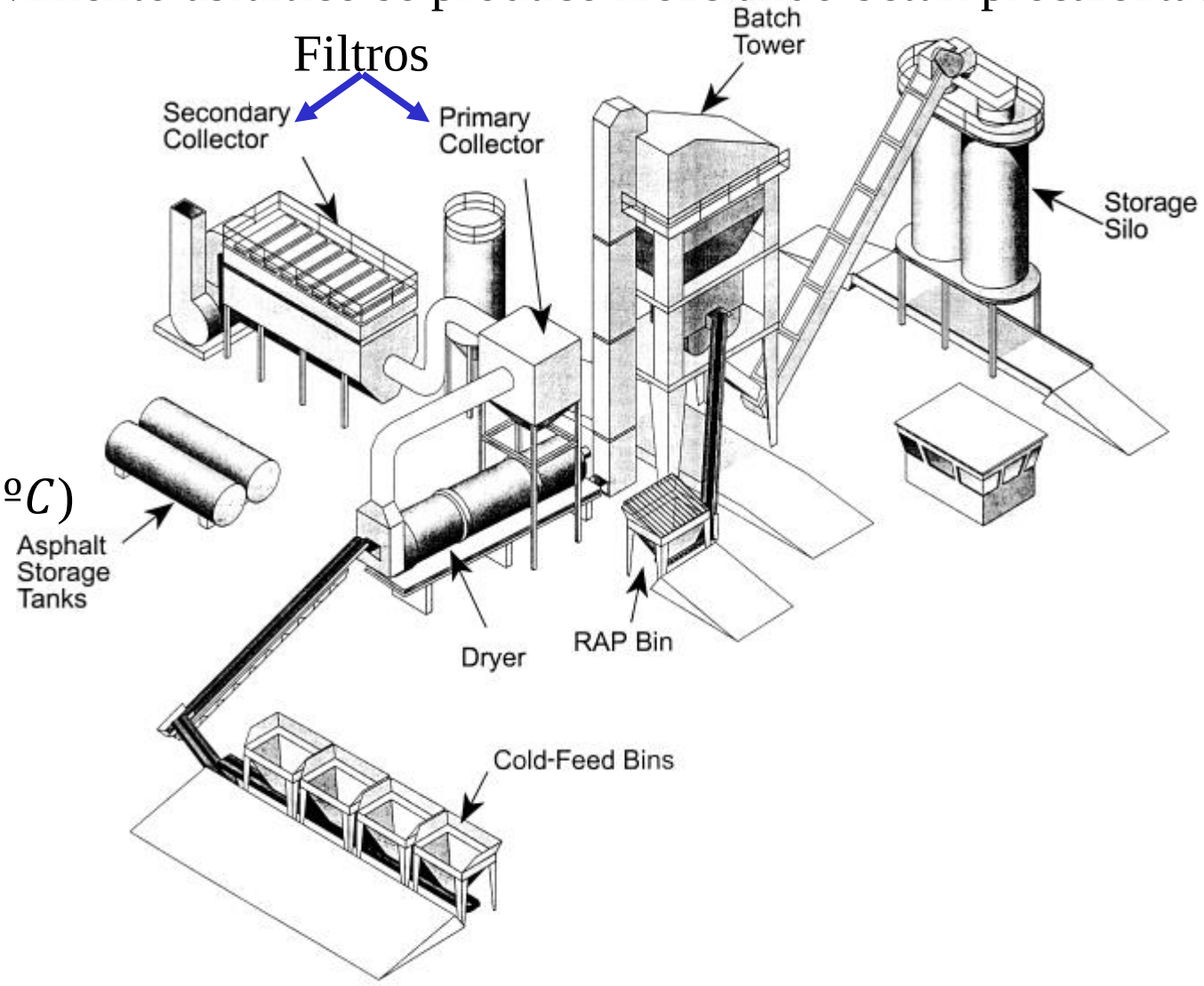
Su tamaño depende de la maquinaria empleada al levantar el asfalto.

Industrias objetivo: plantas asfálticas

- La planta asfáltica más común es de tipo de mezcla en caliente (HMA).
- El pavimento asfáltico se produce mezclando betún precalentado, áridos, filler y RAP.

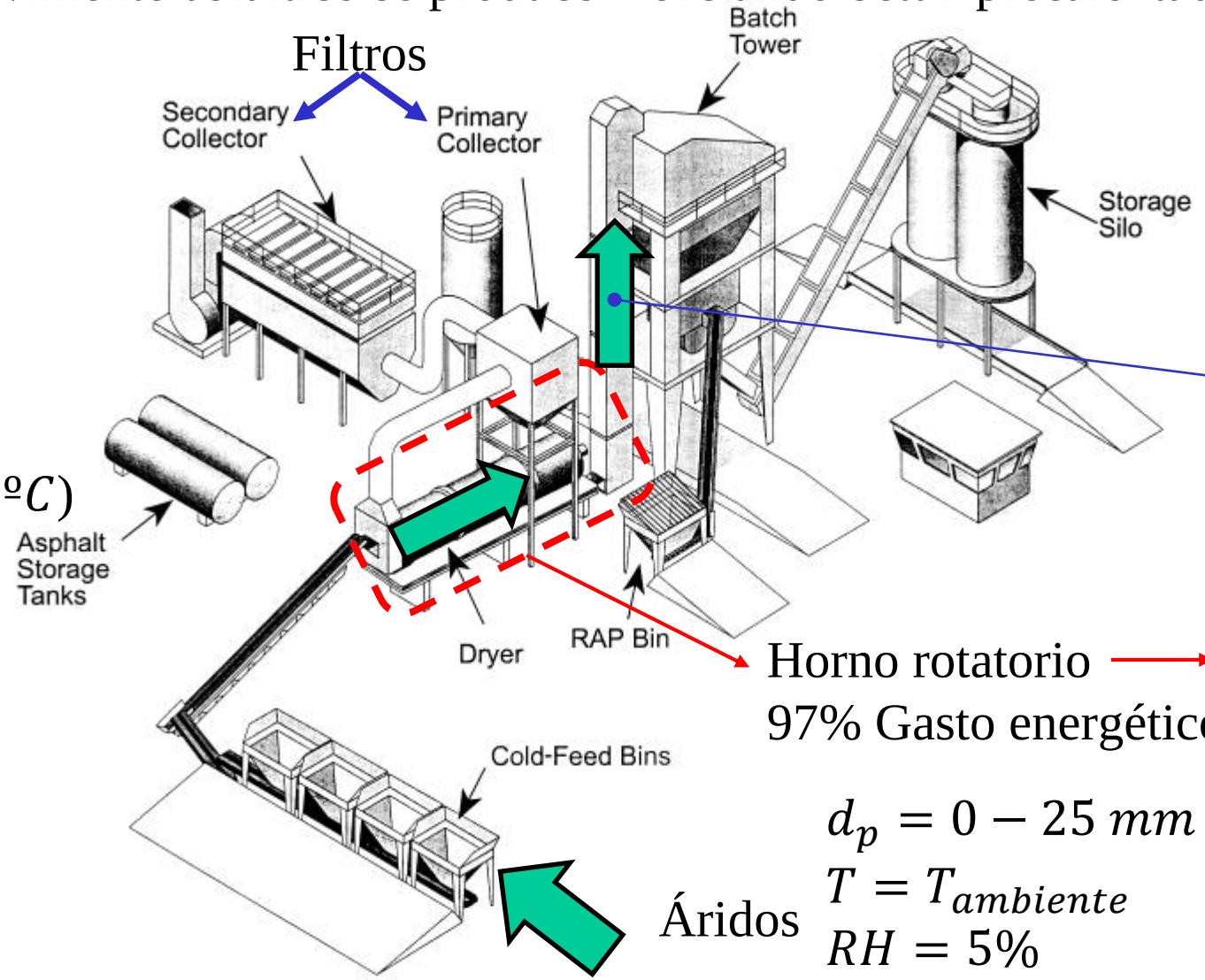
Filtros

Betún
($T \approx 150ºC$)



Industrias objetivo: plantas asfálticas

- La planta asfáltica más común es de tipo de mezcla en caliente (HMA).
- El pavimento asfáltico se produce mezclando betún precalentado, áridos, filler y RAP.



Betún
$(T \approx 150ºC)$

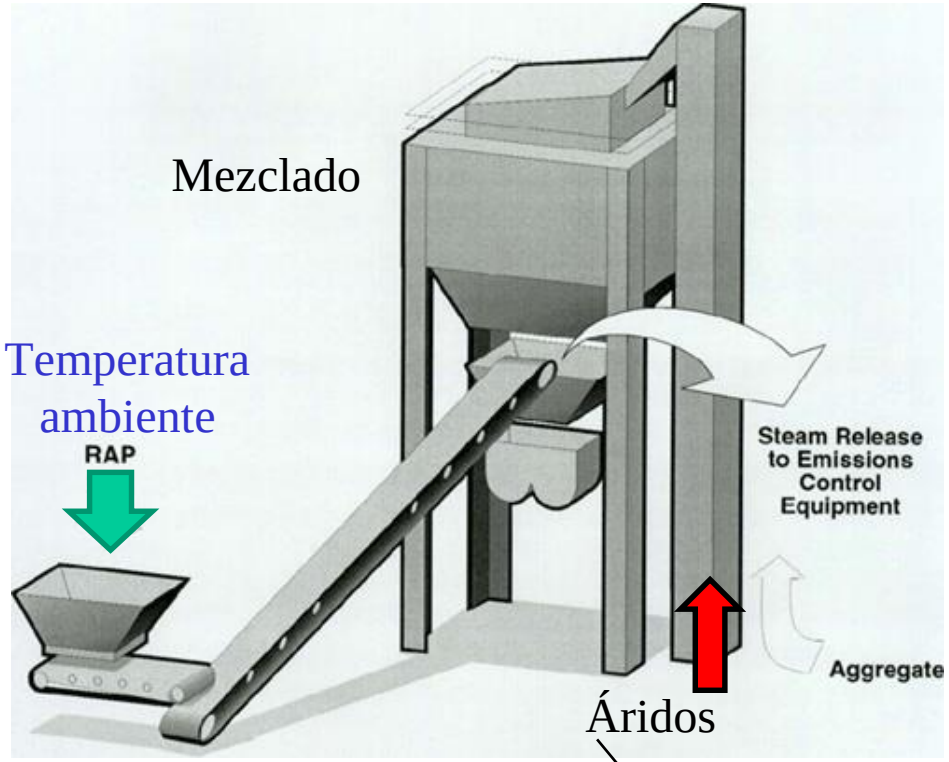
Áridos
$d_p = 0 - 25\ mm$
$\boldsymbol{T = 150 - 250ºC}$
$RH = 0\%$

Horno rotatorio
97% Gasto energético

Áridos
$d_p = 0 - 25\ mm$
$T = T_{ambiente}$
$RH = 5\%$

Industrias objetivo: plantas asfálticas

- Con el fin de reducir el impacto medioambiental, las plantas asfálticas intentan aumentar el contenido de RAP en la mezcla.
- La temperatura de mezclado depende de la humedad inicial de los áridos, la temperatura de descarga y el porcentaje de reciclado.



Temperatura en función del tipo de mezcla

Temperatura de los áridos (ºC)

% Fresado reciclado	Humedad inicial de los áridos (%)	Temperatura de descarga (ºC)			
		104ºC	115ºC	127ºC	138ºC
20% RAP / 80% áridos	0	138	154	168	182
	2	154	168	182	196
	5	179	193	207	221
40% RAP / 60% áridos	0	179	199	218	238
	2	218	238	257	277
	5	285	302	321	341

https://www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling/98042/05.cfm

Industrias objetivo: producción de yeso

- España es el mayor productor de yeso de Europa con 7.000 millones de toneladas en 2019.
- El yeso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) se utiliza principalmente en la industria de la construcción.
- Una vez minado, se tritura y calienta hasta conseguir las propiedades adecuadas.

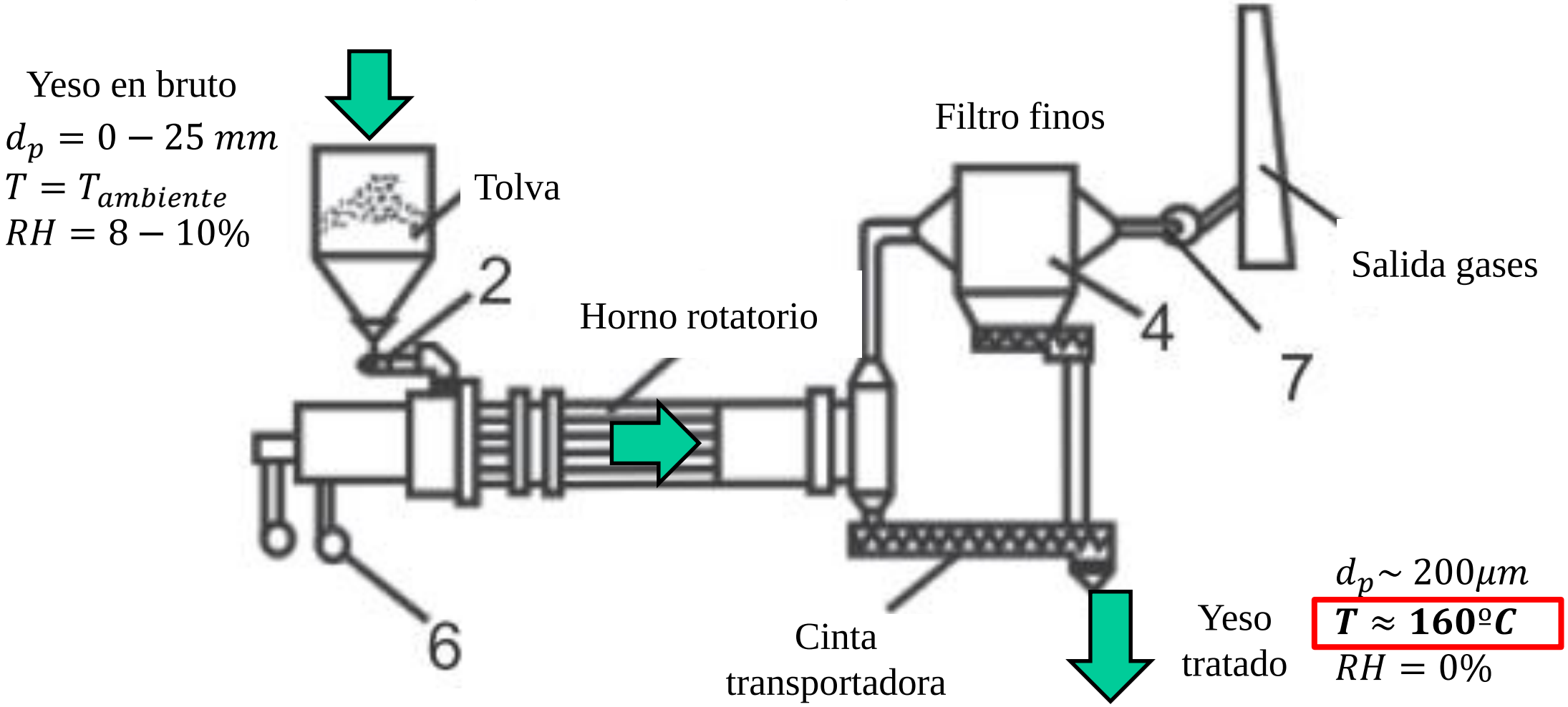
Fase	Nombre	Rango de temperaturas
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Calcium Sulphate Dihydrate	Ambient temperature
$CaSO_4 \cdot \frac{1}{2} H_2O$	Calcium Sulphate Hemihydrate	100 – 160ºC
$CaSO_4$	Calcium Sulphate Dehydrated	170 – 180ºC
$CaSO_4\ III$	β-Anhydrite III	300 – 350ºC
$CaSO_4\ II$	β-Anhydrite II	350 – 750ºC
$CaSO_4\ I$	β-Anhydrite I	750 – 1450ºC
CaO	Complete dissociation	> 1450ºC

Yeso de París o yeso cocido

Jesús Gómez Hernández jegomez@ing.uc3m.es | uc3m | Universidad Carlos III de Madrid

Industrias objetivo: producción de yeso

- España es el mayor productor de yeso de Europa con 7.000 millones de toneladas en 2019.
- El yeso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) se utiliza principalmente en la industria de la construcción.
- Una vez minado, se tritura y calienta hasta conseguir las propiedades adecuadas.



Industrias objetivo: Impacto medioambiental

- El secado y calentamiento producido en el horno rotatorio se puede realizar quemando carbón, aceites pesados o gas natural.
- El consumo energético y el impacto ambiental de estas industrias es alto.

Industria	Gasto energético	Emisiones CO_2	Flujo másico
Asfalto	85 kWh/ton	18 kg de CO_2/ton	70 ton/h
Yeso	375 kWh/ton	44 kg de CO_2/ton	11 ton/h

Jesús Gómez Hernández jegomez@ing.uc3m.es | uc3m | Universidad Carlos III de Madrid

Industrias objetivo: Impacto medioambiental

- El secado y calentamiento producido en el horno rotatorio se puede realizar quemando carbón, aceites pesados o gas natural.
- El consumo energético y el impacto ambiental de estas industrias es alto.

Industria	Gasto energético	Emisiones CO_2	Flujo másico
Asfalto	85 kWh/ton	18 kg de CO_2/ton	70 ton/h
Yeso	375 kWh/ton	44 kg de CO_2/ton	11 ton/h

Hogar promedio España (2020)

Gasto energético	Emisiones CO_2
9908 kWh/año	2477 kg de CO_2/año

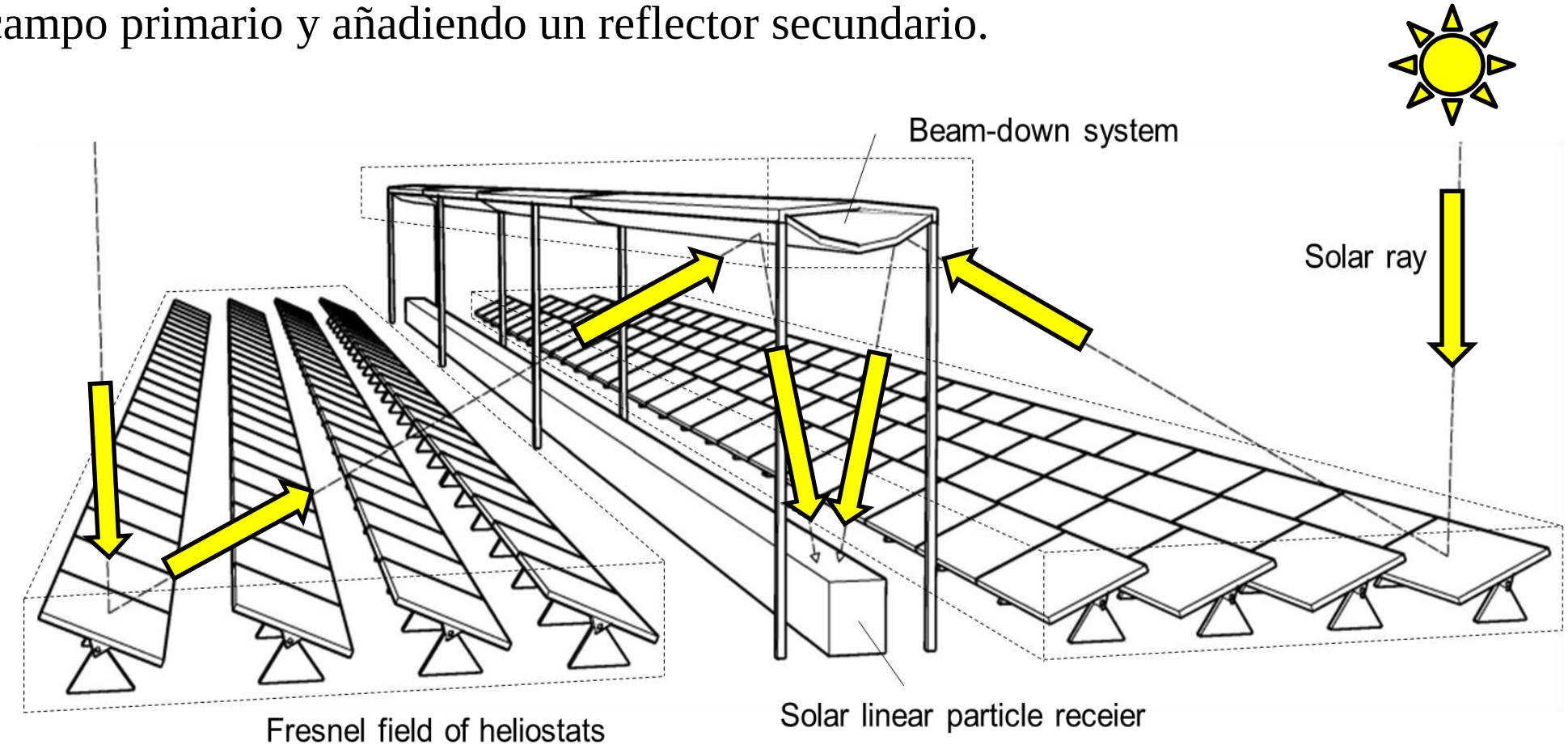
Las emisiones de **CO_2** de **1 hogar** durante **1 año** equivalen a:

Asfalto	1.96 horas
Yeso	5.12 horas

Jesús Gómez Hernández jegomez@ing.uc3m.es | uc3m | Universidad Carlos III de Madrid

Fundamentos de la tecnología “Linear beam-down”

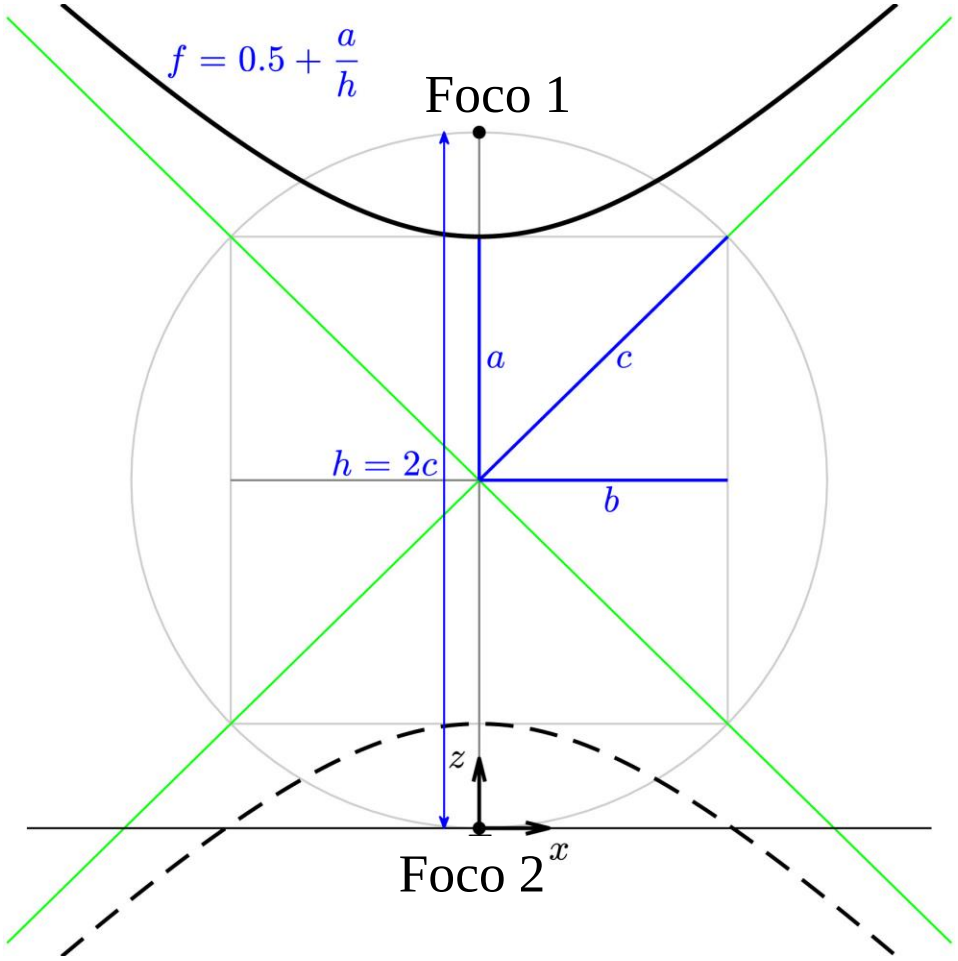
- Objetivo: procesar térmicamente materiales pesados a temperaturas medias (150 – 300ºC).
- Debido al peso, es necesario situar el receptor en el suelo.
- Esta tecnología, patentada por la UC3M, modifica la tecnología Fresnel lineal conservando el campo primario y añadiendo un reflector secundario.

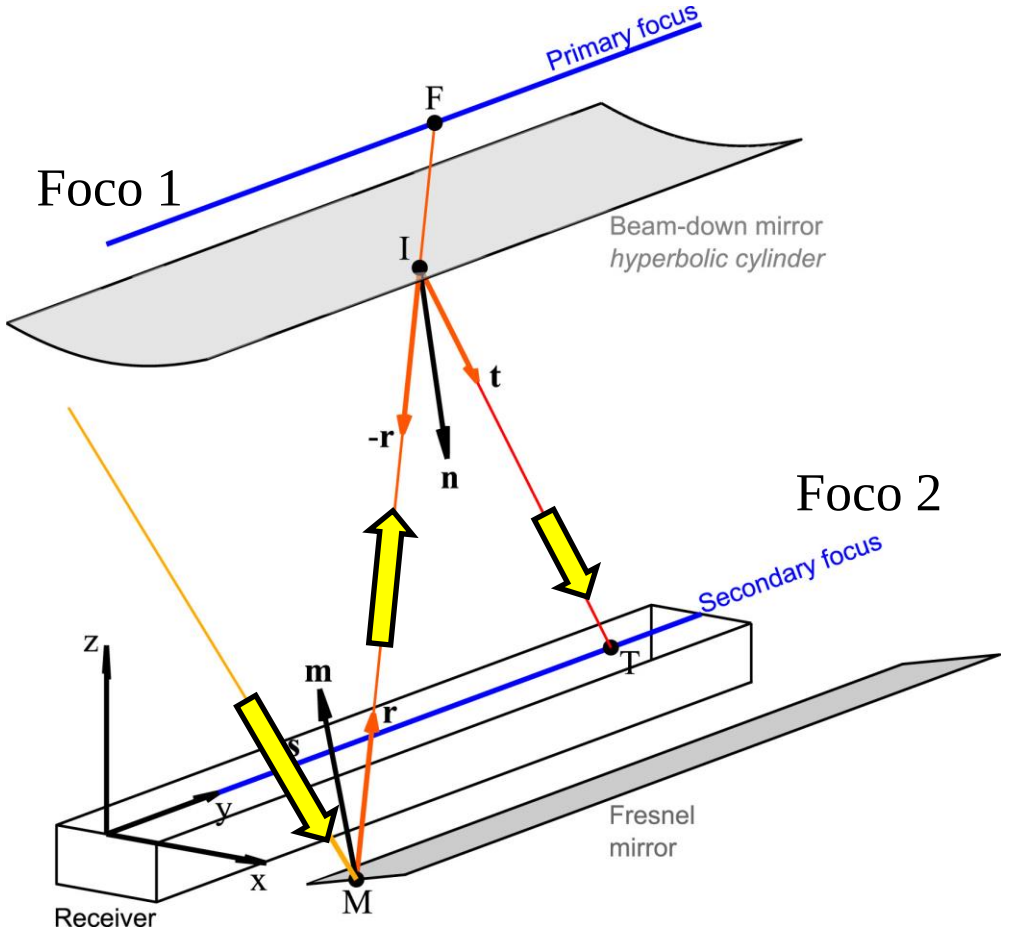


Jesús Gómez Hernández jegomez@ing.uc3m.es | Universidad Carlos III de Madrid uc3m

Fundamentos de la tecnología “Linear beam-down”

- La geometría del reflector secundario se basa en las propiedades de las hipérbolas:
  - Cualquier rayo dirigido a un foco se refleja hacia el segundo foco de la hipérbola.

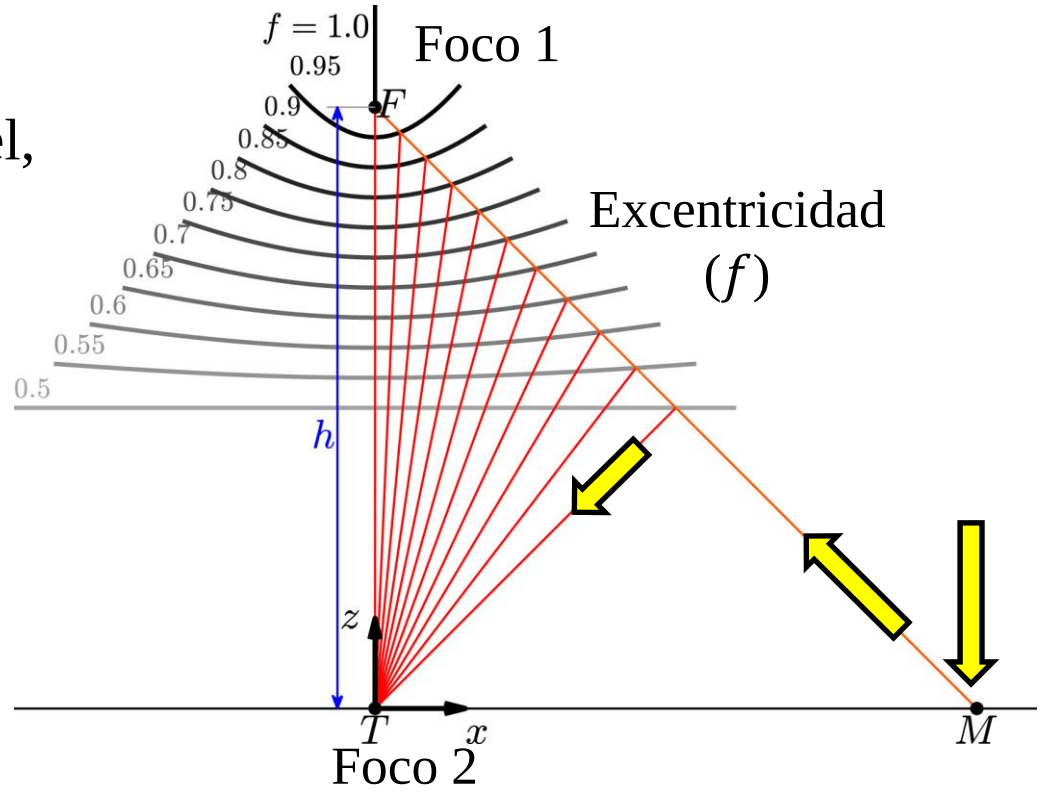




Sánchez-Gónzalez, A., Gómez-Hernández, J. (2020). Beam-down linear Fresnel reflector: BDLFR. *Renewable Energy* 146 (2020) 802-815.

Fundamentos de la tecnología “Linear beam-down”

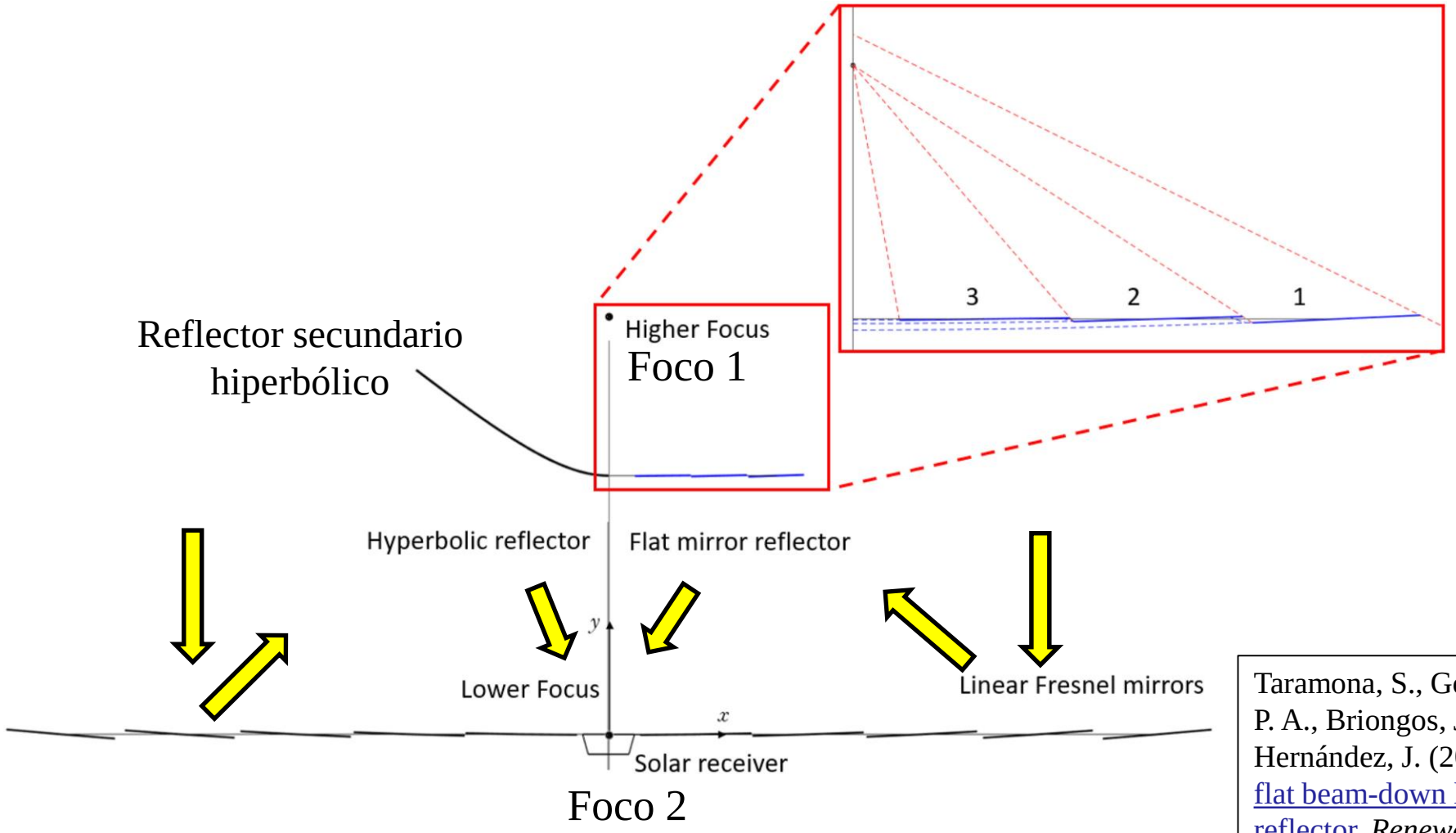
- La geometría del reflector secundario se basa en las propiedades de las hipérbolas:
  - ➢ Cualquier rayo dirigido a un foco se refleja hacia el segundo foco de la hipérbola.
- **Ventajas**:
  - ✓ Es posible procesar materiales pesados.
  - ✓ Campo primario formado por heliostatos Fresnel, con muy bajo coste y de diseño compacto.
  - ✓ Fácil operación y mantenimiento.
- **Desventajas**:
  - ✓ <u>El reflector secundario con forma hiperbólica es difícil de construir</u>.
  - ✓ Doble reflexión y pérdida de concentración.
  - ✓ El reflector secundario sombrea el campo primario.



Sánchez-Gónzalez, A., Gómez-Hernández, J. (2020). Beam-down linear Fresnel reflector: BDLFR. *Renewable Energy* 146 (2020) 802-815.

Diseño del campo solar “Linear beam-down”

- Se sustituye el reflector secundario hiperbólico por espejos planos instalados a una altura fija. Estos espejos no tienen seguimiento solar.

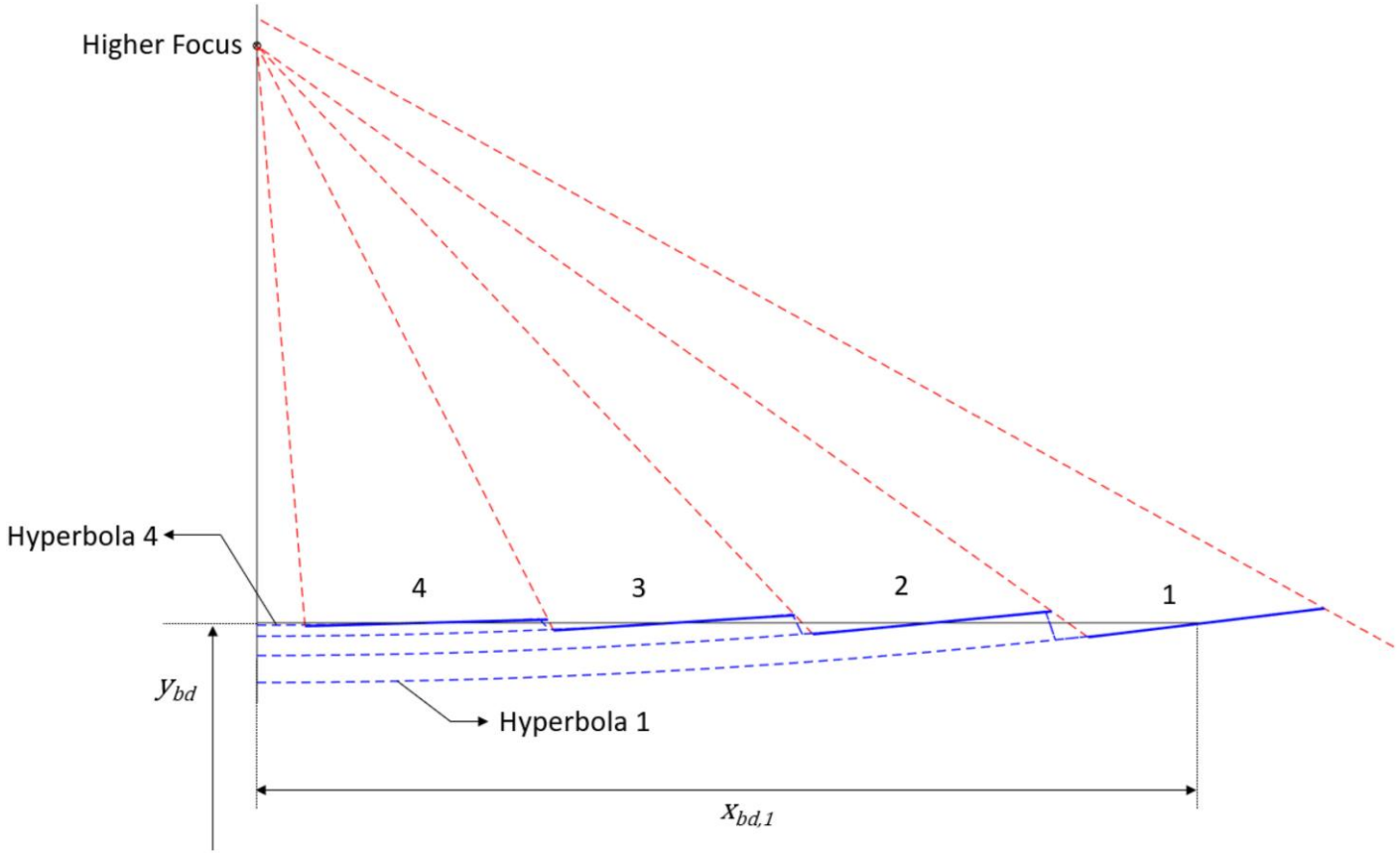


Taramona, S., González-Gómez, P. A., Briongos, J. V., Gómez-Hernández, J. (2022). Designing a flat beam-down linear Fresnel reflector. *Renewable Energy* 187 (2022) 484-499.

Jesús Gómez Hernández jegomez@ing.uc3m.es uc3m | Universidad Carlos III de Madrid

Diseño del campo solar “Linear beam-down”

- Se sustituye el reflector secundario hiperbólico por espejos planos instalados a una altura fija. Estos espejos no tienen seguimiento solar.
- Los espejos planos se diseñan tangentes a distintas hipérbolas que comparten el mismo foco, concentrando la irradiación solar en el receptor.

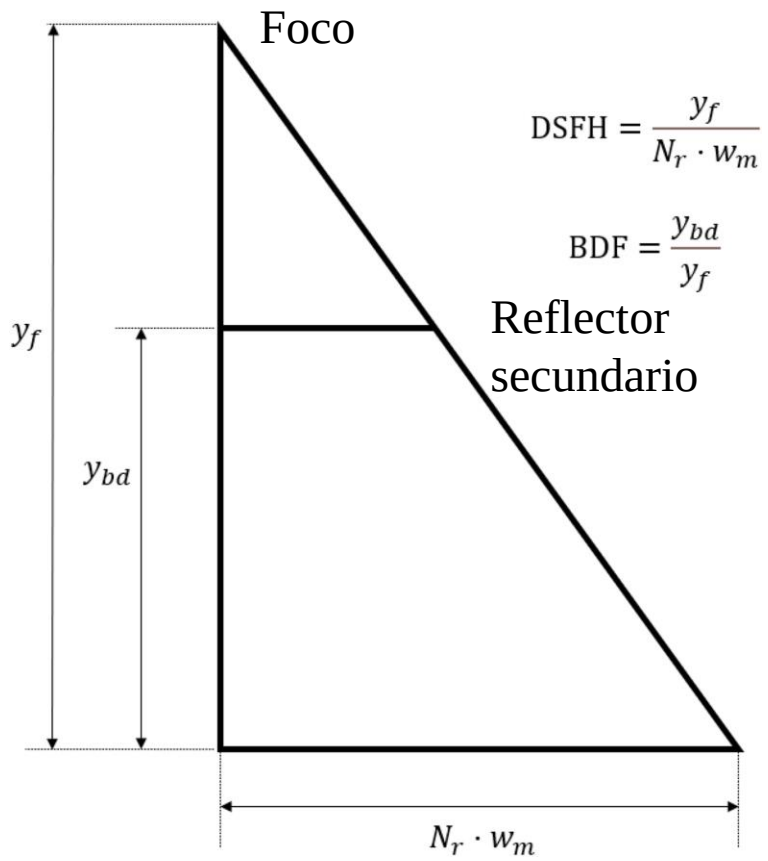


Taramona, S., González-Gómez, P. A., Briongos, J. V., Gómez-Hernández, J. (2022). Designing a flat beam-down linear Fresnel reflector. *Renewable Energy* 187 (2022) 484-499.

Jesús Gómez Hernández jegomez@ing.uc3m.es uc3m | Universidad Carlos III de Madrid

Diseño del campo solar “Linear beam-down”

- El diseño del campo solar se realiza a partir de estos datos iniciales:
  - Altura del foco (y_f)
  - Ancho espejos primarios (w_m)
  - Número de espejos primarios al Este (N_r)
  - Altura del reflector secundario (y_{bd})



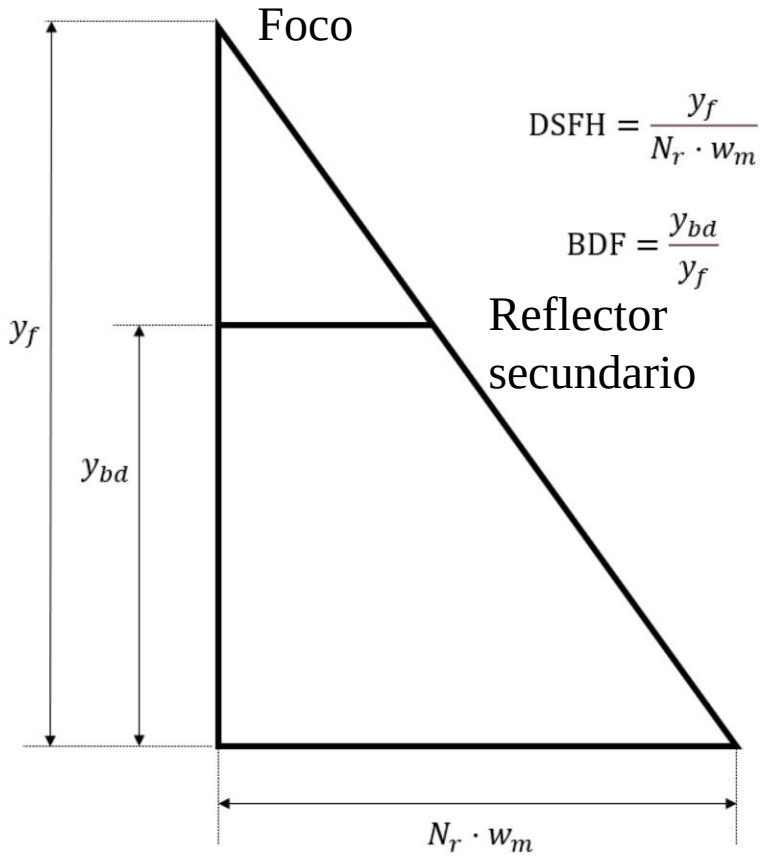
Taramona, S., González-Gómez, P. A., Briongos, J. V., Gómez-Hernández, J. (2022). Designing a flat beam-down linear Fresnel reflector. *Renewable Energy* 187 (2022) 484-499.

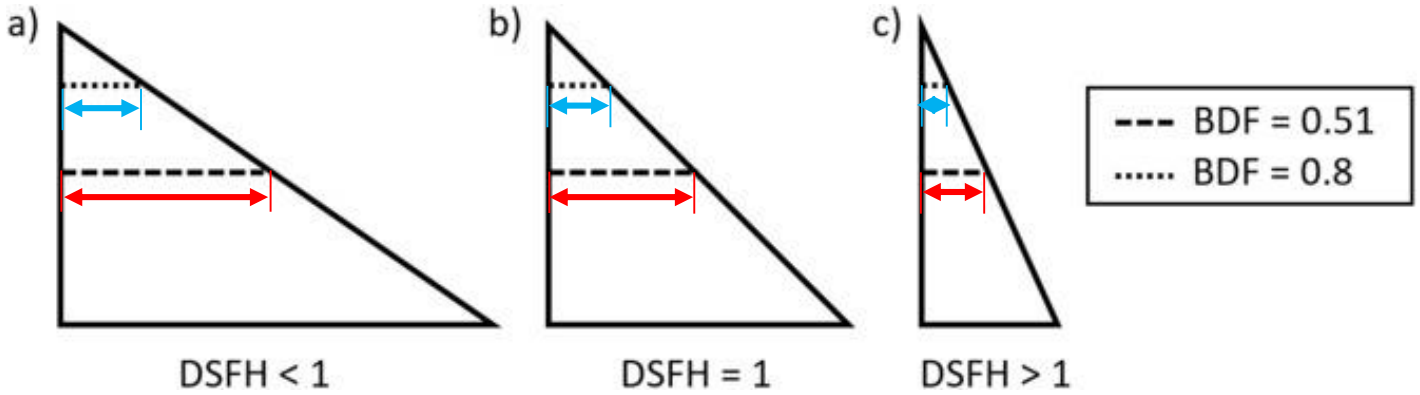
Jesús Gómez Hernández jegomez@ing.uc3m.es | Universidad Carlos III de Madrid uc3m

Diseño del campo solar “Linear beam-down”

- El diseño del campo solar se realiza a partir de estos datos iniciales:
  - Altura del foco (y_f)
  - Ancho espejos primarios (w_m)
  - Número de espejos primarios al Este (N_r)
  - Altura del reflector secundario (y_{bd})

- Los parámetros adimensionales simplifican el diseño:
  1. Dimensionless Solar Field Height (DSFH)
  2. Beam-Down Fraction (BDF)





- Altas pérdidas por coseno.
- Mayor anchura del secundario.

Triángulo isósceles

Esbelto

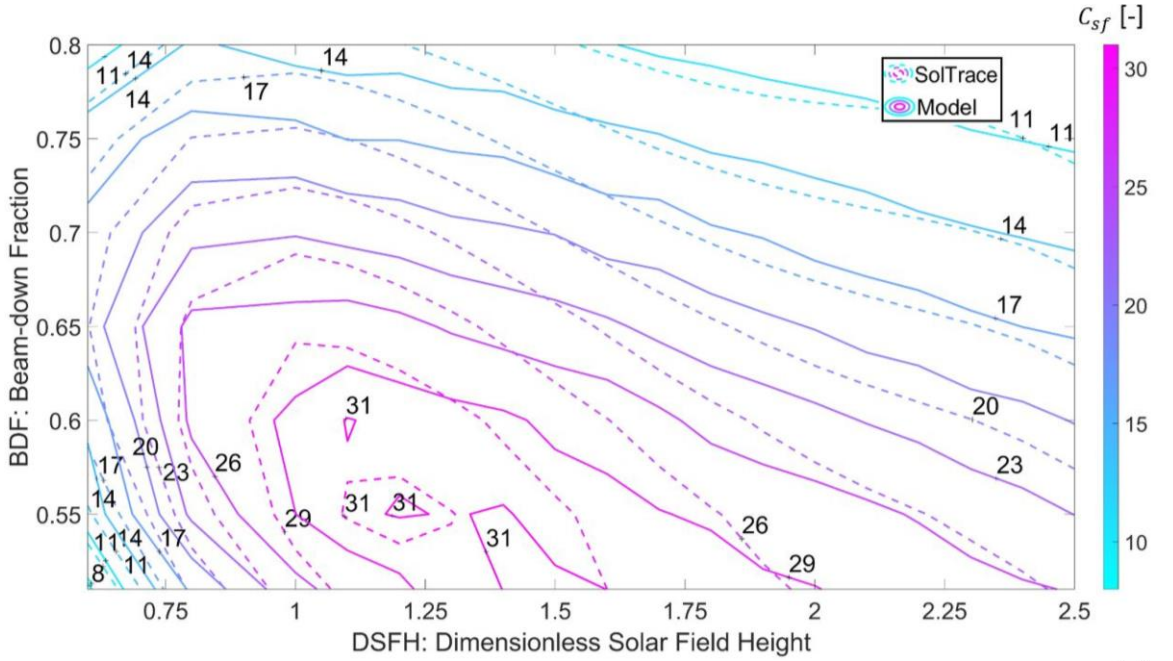
Taramona, S., González-Gómez, P. A., Briongos, J. V., Gómez-Hernández, J. (2022). Designing a flat beam-down linear Fresnel reflector. *Renewable Energy* 187 (2022) 484-499.

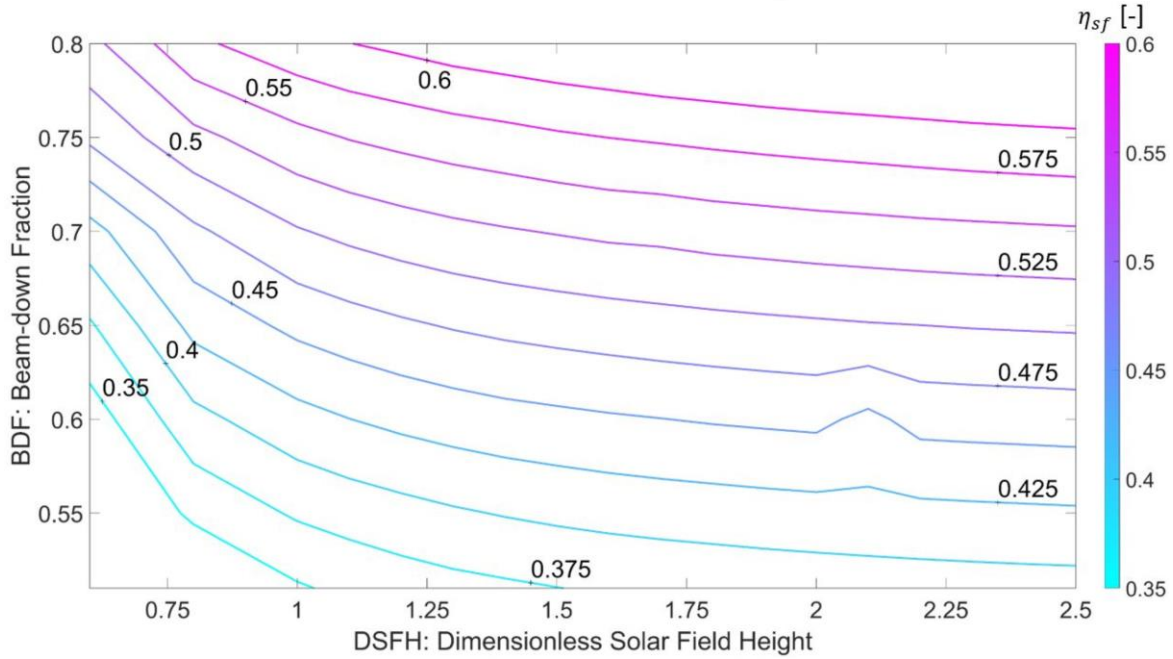
Jesús Gómez Hernández jegomez@ing.uc3m.es | Universidad Carlos III de Madrid uc3m

Diseño del campo solar “Linear beam-down”

- La concentración promedio en el receptor muestra un máximo para:
  - DSFH ≈ 1.2
  - BDF ≈ 0.56

- Mayor eficiencia óptica con BDF ~ 0.8.





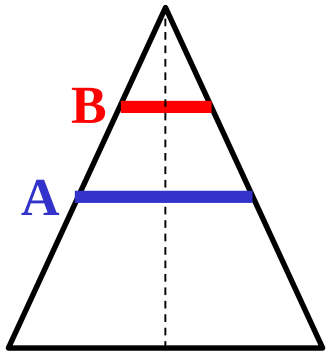
Taramona, S., González-Gómez, P. A., Briongos, J. V., Gómez-Hernández, J. (2022). Designing a flat beam-down linear Fresnel reflector. *Renewable Energy* 187 (2022) 484-499.

Jesús Gómez Hernández jegomez@ing.uc3m.es | Universidad Carlos III de Madrid uc3m

Diseño del campo solar “Linear beam-down”

- La concentración promedio en el receptor muestra un máximo para:
  - ➢ DSFH ≈ 1.2
  - ➢ BDF ≈ 0.56

- Mayor eficiencia óptica con BDF ~ 0.8.



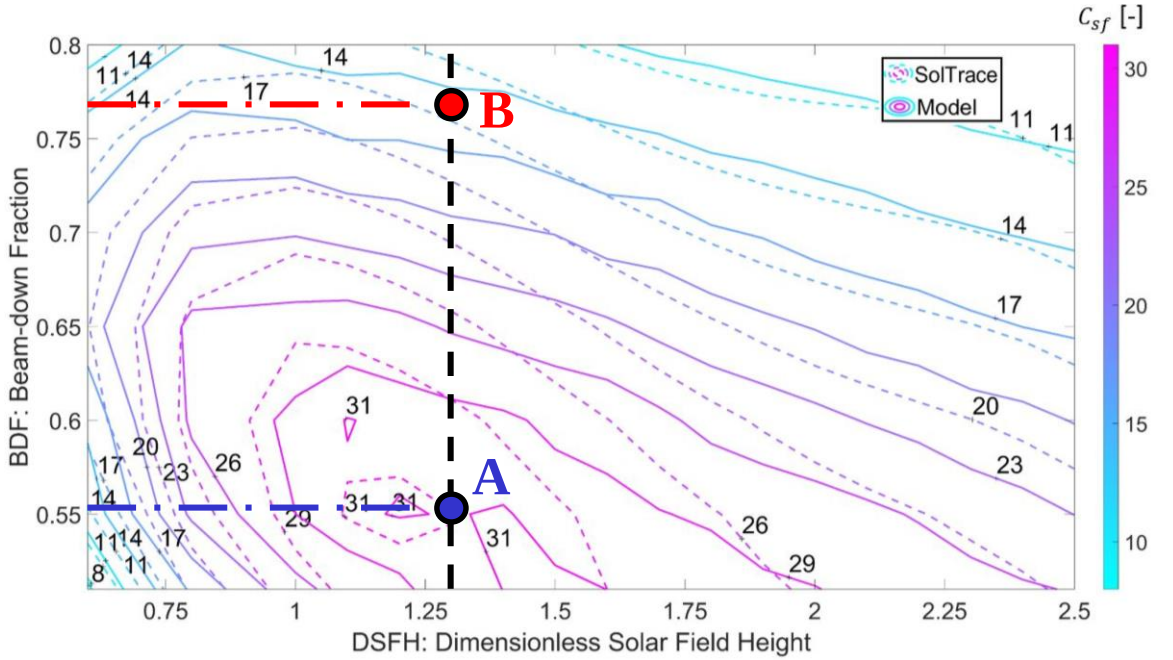
DSFH = 1.3

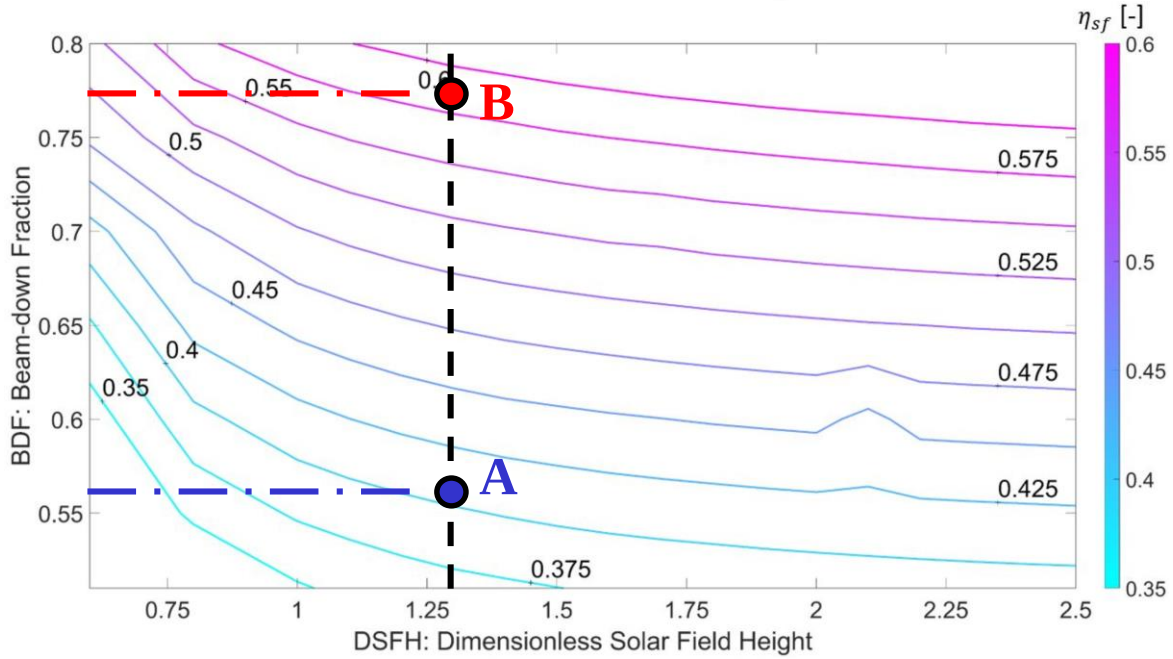
Punto A

$DSFH = 1.2$
$BDF = 0.56$
$C_{sf} = 31$
$\eta_{sf} = 41\%$

Punto B

$DSFH = 1.3$
$BDF = 0.77$
$C_{sf} = 17$
$\eta_{sf} = 58\%$





Taramona, S., González-Gómez, P. A., Briongos, J. V., Gómez-Hernández, J. (2022). Designing a flat beam-down linear Fresnel reflector. *Renewable Energy* 187 (2022) 484-499.

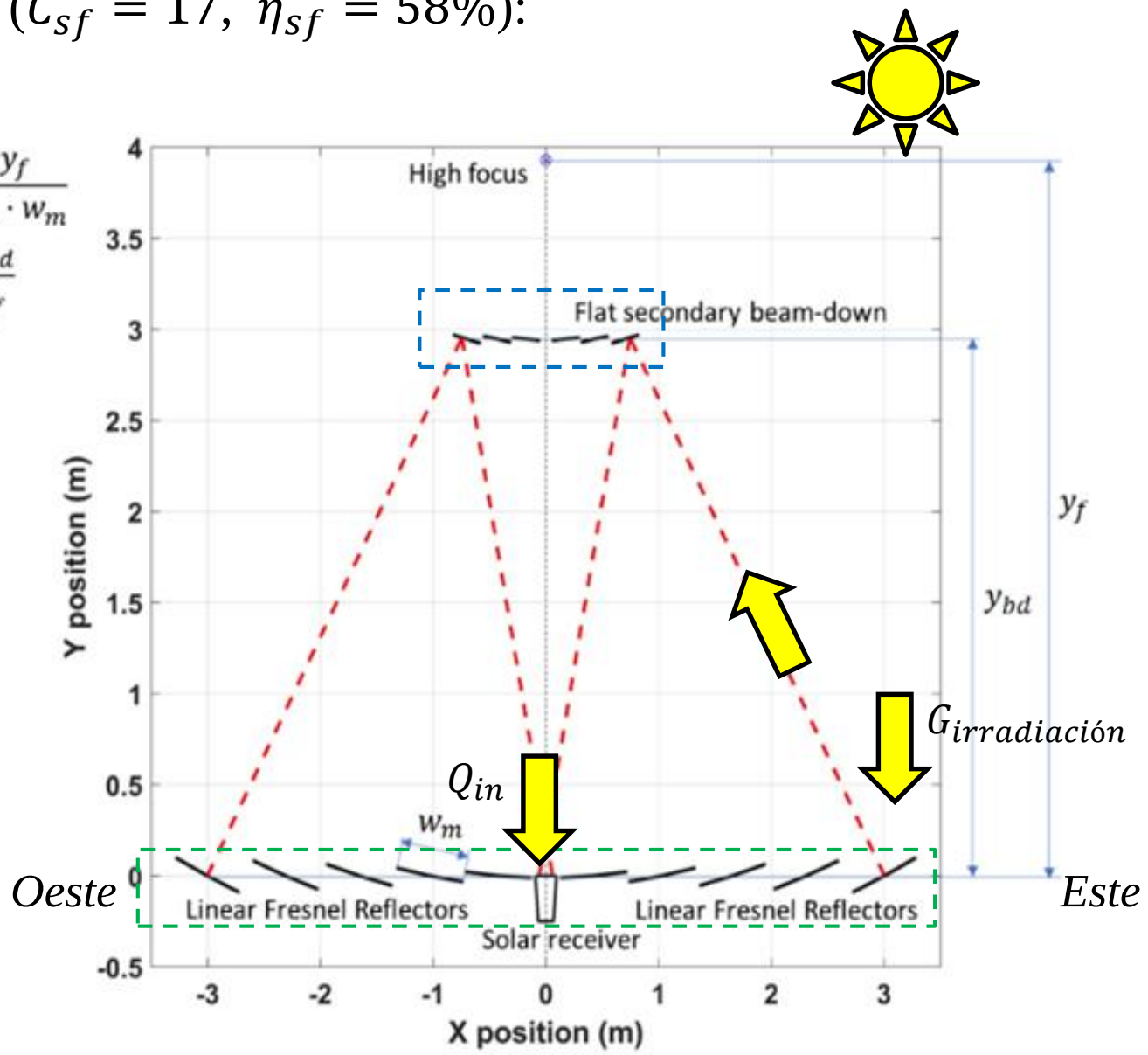
Jesús Gómez Hernández jegomez@ing.uc3m.es | Universidad Carlos III de Madrid uc3m

Diseño del campo solar “Linear beam-down”

- Ejemplo de campo solar para el Punto B ($C_{sf} = 17,\ \eta_{sf} = 58\%$):
  - Orientación Norte-Sur
  - Altura del foco:
    y_f = 3.9 m
  - Ancho espejos primarios:
    w_m = 0.6 m
  - Número de espejos primarios:
    N_r = 5 + 5
  - Altura del reflector secundario:
    y_{bd} = 3 m
  - Ancho receptor:
    w_{rec} = 0.24 m

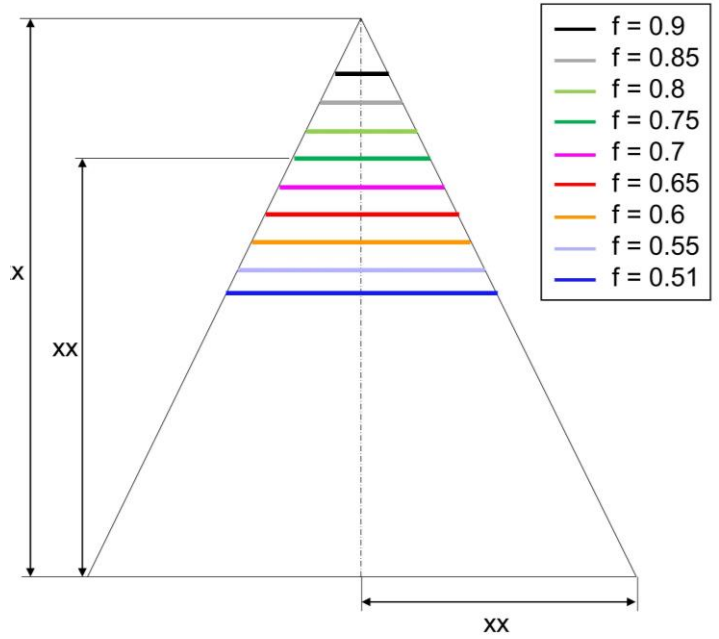
$$DSF = \frac{y_f}{N_r \cdot w_m}$$

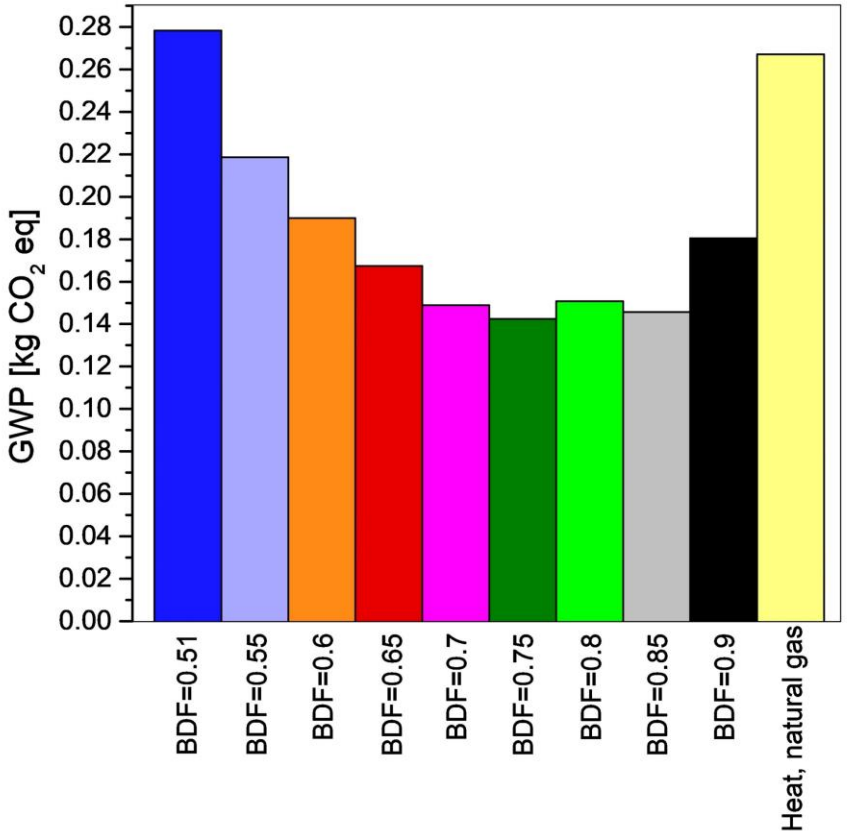
$$BDF = \frac{y_{bd}}{y_f}$$



Impacto medioambiental de la tecnología “Linear Beam-Down”

- Se ha comparado la tecnología Beam-Down con calor de proceso suministrado por gas natural, según *ecoinvent item: Heat, central or small-scale, natural gas {Europe without Switzerland}| market for heat, central or small-scale, natural gas | APOS, U.*
- La mejor configuración (BDF = 0.75) muestra una reducción del 45.7% comparado con una fuente de calor convencional de gas natural.

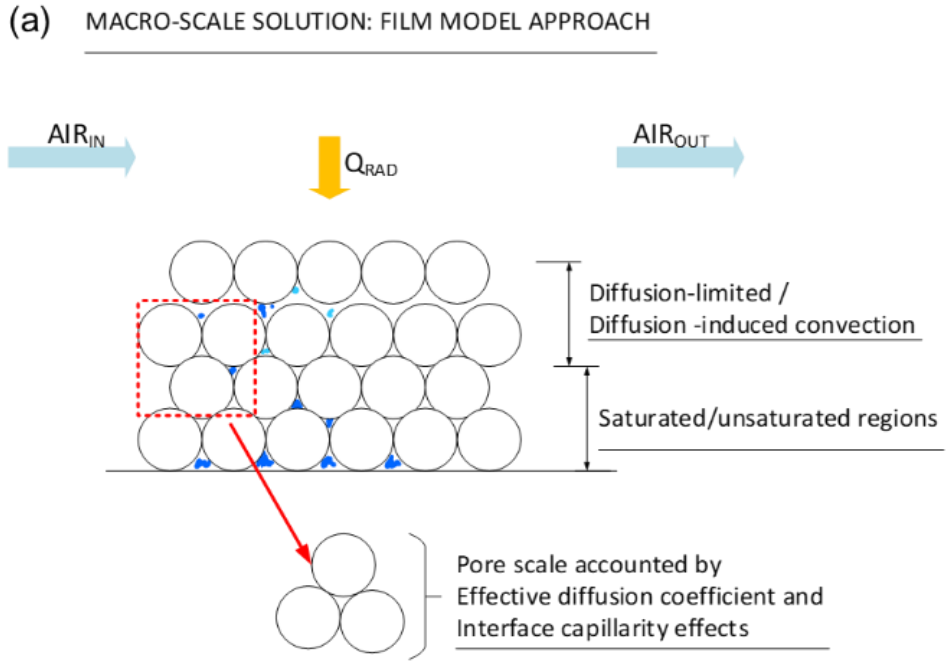


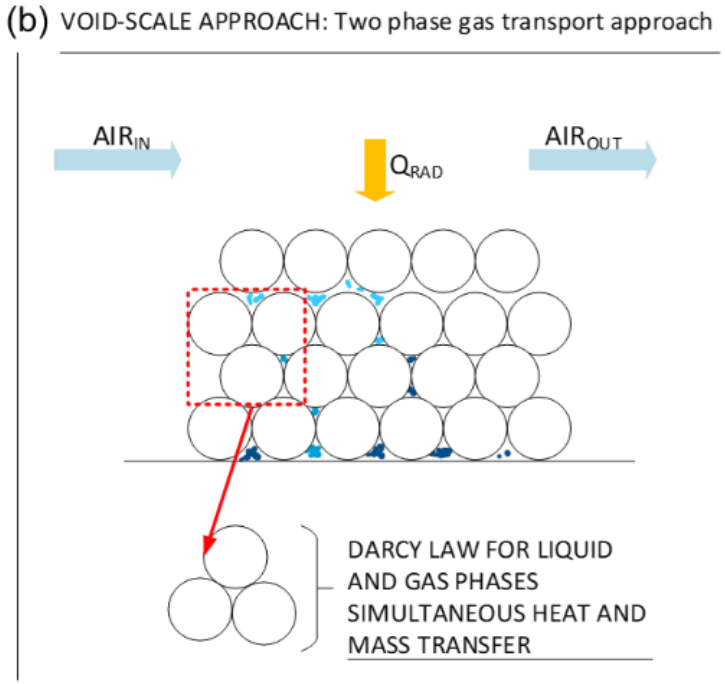


Batuecas, E., Taramona, S., Gómez-Hernández, J., Briongos, J. V., Environmental and energetic behavior of a Beam-down linear Fresnel solar field for low-grade thermal energy applications. *Applied Thermal Engineering* Under Review

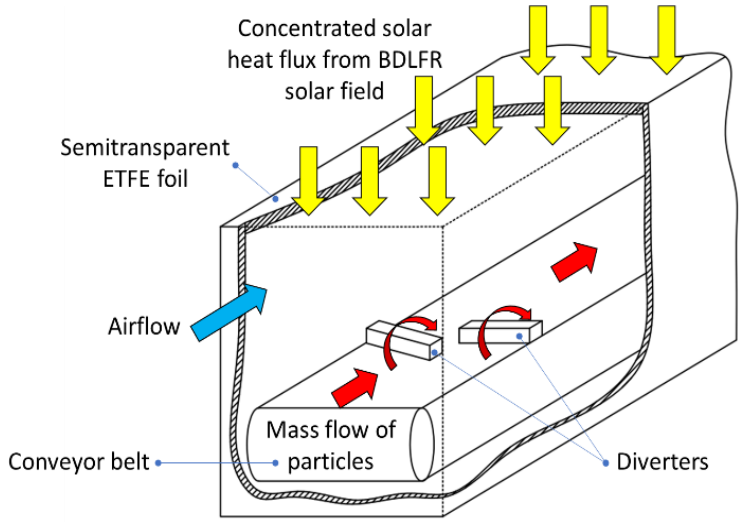
Trabajos futuros

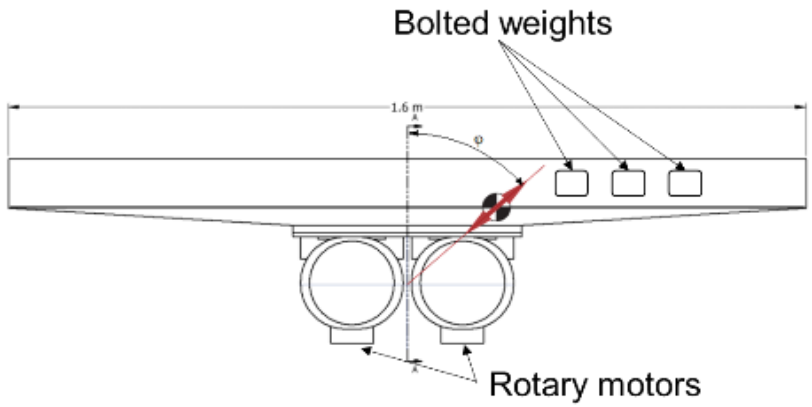
- Modelización del proceso de secado y calentamiento de partículas en el receptor solar:
  - Áridos asfalto: humedad superficial
  - Yeso: humedad intrínseca.





- Diseño del receptor en función del tipo de secado.

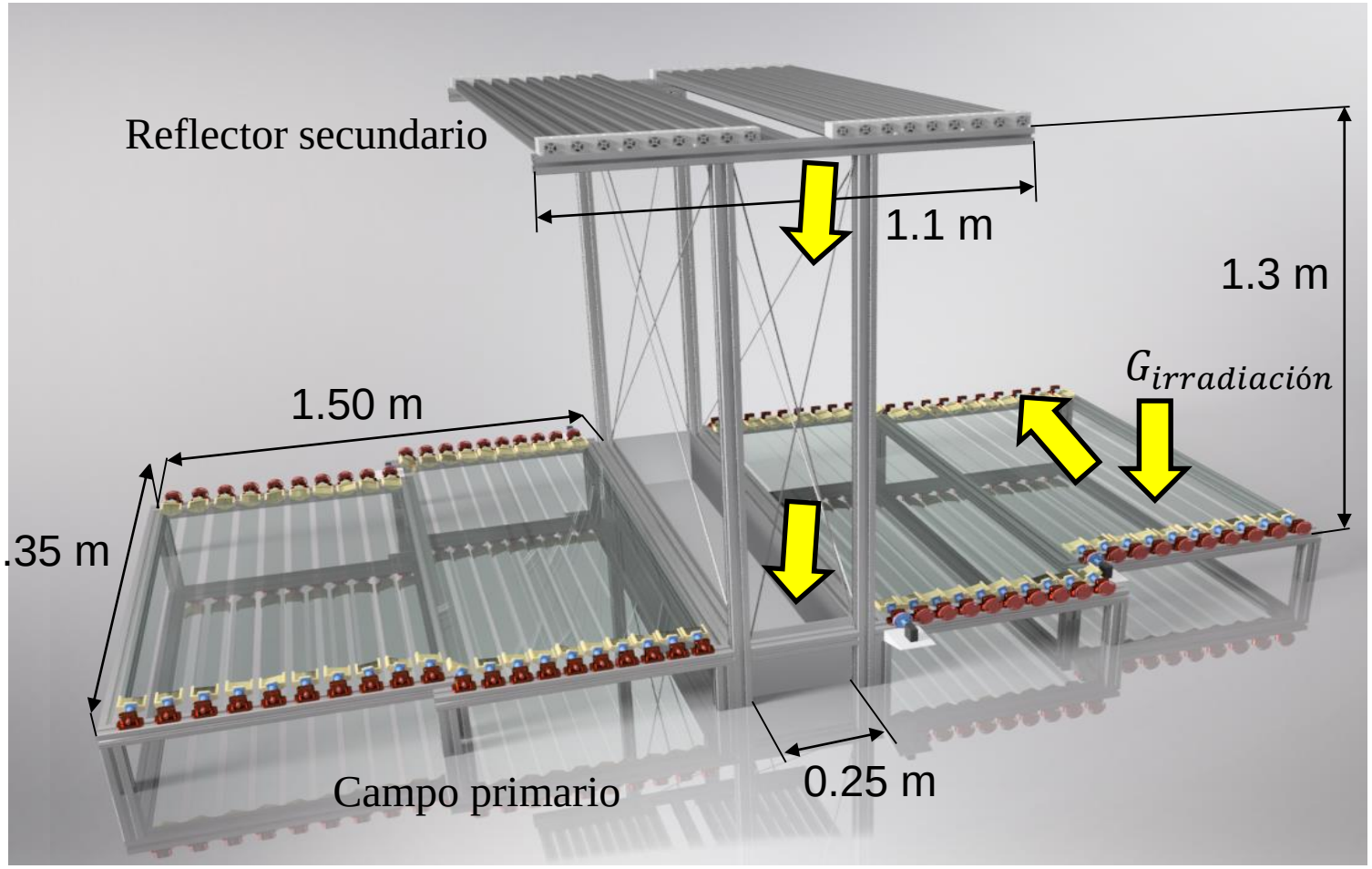




Prototipo del campo solar a escala de laboratorio en la UC3M

- Espejos planos:
  - 40 espejos primarios: ancho = 5.5 cm.
  - 18 espejos secundarios: ancho = 5 cm.

https://youtube.com/shorts/bvkJr_5LbXE?feature=share



Conclusiones

- **Nueva** tecnología de concentración termosolar: **Linear Beam-Down**.
- Tratamiento térmico, como secado y calentamiento, de **materiales pesados** a temperaturas de **150 – 300ºC**.
- **Fácil diseño** adimensional DSFH y BDF.
- **Fácil construcción** gracias a la optimización del **reflector secundario**, compuesto por espejos planos fijos.
- Concentraciones del flujo de calor de $\boldsymbol{C_{sf} = 15 - 31}$ para eficiencias ópticas de $\boldsymbol{\eta_{sf} = 60 - 40}$%, respectivamente.
- **Reducción** del **45.7%** en las emisiones de $\mathbf{CO_2}$ comparado con una fuente convencional de gas natural.
- Futuros trabajos:
  - Modelización del proceso de secado y calentamiento.
  - Diseño y construcción del receptor solar.

Muchas gracias por su atención

uc3m | Universidad Carlos III de Madrid

Plan Nacional Retos – Convocatoria 2021

PID2021-122278OB-I00

Dr. Jesús Gómez Hernández (jegomez@ing.uc3m.es) Dr. Javier Villa Briongos (jvilla@ing.uc3m.es)