



POLITECNICO  
MILANO 1863



HEAT4COOL

Sistema Propuesto 1:

# Máquina de Adsorción accionada por energía **Solar Térmica**

## Indicaciones para el diseño y dimensionamiento



Heat4COOL project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under grant agreement No 723925



# Índice

## Diseño del sistema

- Sistema solar
- Máquina de adsorción
- Equipo de disipación
- Sistema de Back-up

## Dimensionamiento de sistema

- Sistema solar
- Máquina de adsorción
- Equipo de disipación
- Sistema de Back-up

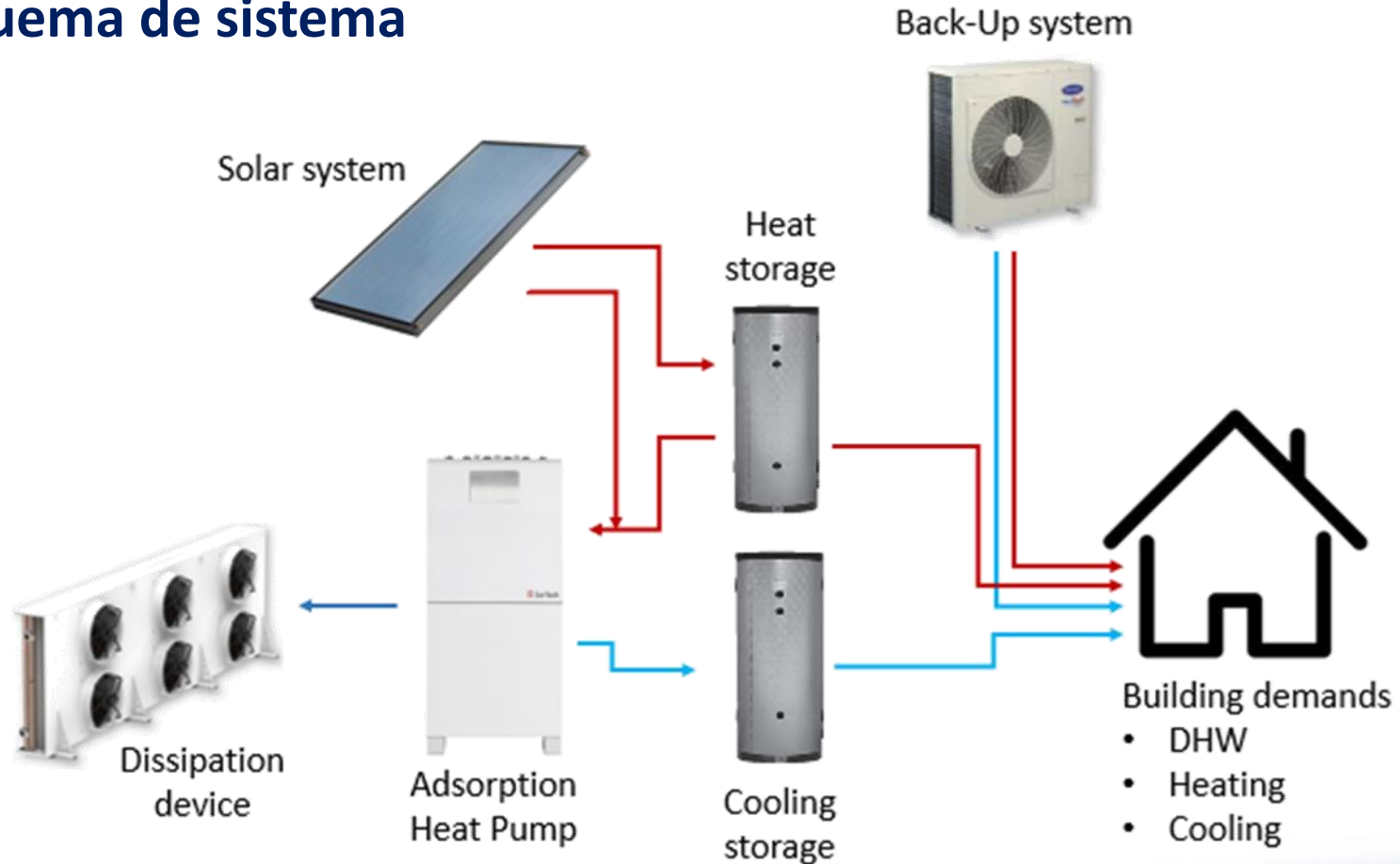
## Optimización de la operación





# Diseño del sistema

## Esquema de sistema





# Diseño del sistema

## Diseño de la instalación solar

- Componentes: Colectores solares, bomba de circulación, válvulas de compensación, vaso de expansión, purgador, controlador.
- Equipo de disipación compartido con la Máquina de adsorción
- Las tecnologías de Tubos de vacío y colectores planos son válidas.
  - Los tubos de vacío tienen mayor eficiencia y temperatura de salida, pero son más caros
  - Consejo: seleccionar tubos de vacío si son necesarias altas temperaturas o si la disponibilidad de superficie es reducida
- Considerar todas las normativas nacionales y municipales
  - Normativas de seguridad
  - Normativas de aspecto arquitectónico





# Diseño del sistema

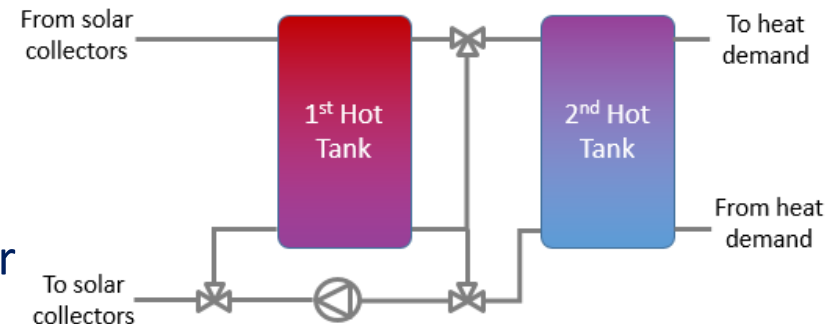
## Diseño del almacenamiento térmico

Almacenamiento solar:

- Suficiente para almacenar toda la producción solar diaria en los días más soleados
- Alcanzar temperaturas útiles en invierno (volumen no demasiado grande)

Opción: almacenamiento de tanque doble

- 1º tanque: almacenamiento solar
- 2º tanque: almacenamiento de calor/solar



Almacenamiento de frío:

Permite una producción constante de frío de la Máquina de adsorción independientemente de la demanda de refrigeración.

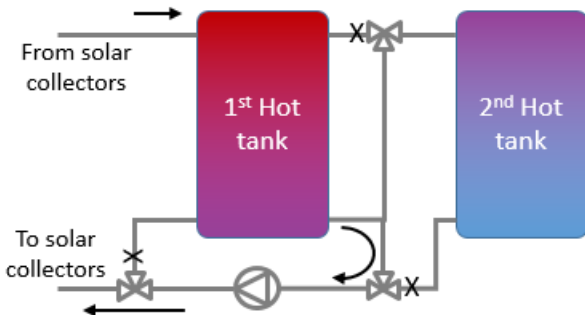




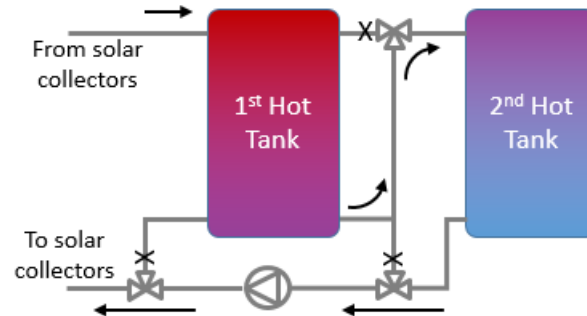
# Diseño del sistema

## Diseño del almacenamiento térmico

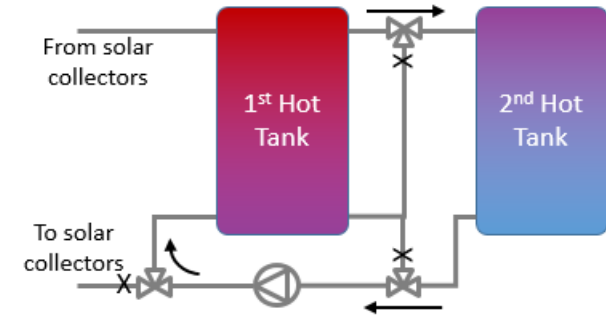
Casos de conexión:



Carga sólo del 1º tanque desde los colectores solares



Carga de ambos tanques en serie desde los colectores solares



Carga del 2º tanque desde el 1º (cuando no hay producción solar)





# Diseño del sistema

## Diseño de la máquina de adsorción

Las prestaciones de la unidad dependen de las condiciones de temperatura en los focos de temperatura:

- Evitar en lo posible la introducción de intercambiadores de calor entre la máquina y los focos de temperatura
- Usar terminales de emisión de baja temperatura
- Definir cuidadosamente la temperatura de producción:
  - Cubrir toda la demanda → producción a baja temperatura → menor eficiencia
  - Cubrir parcialmente la demanda → mayor eficiencia/menor parte cubierta de la demanda

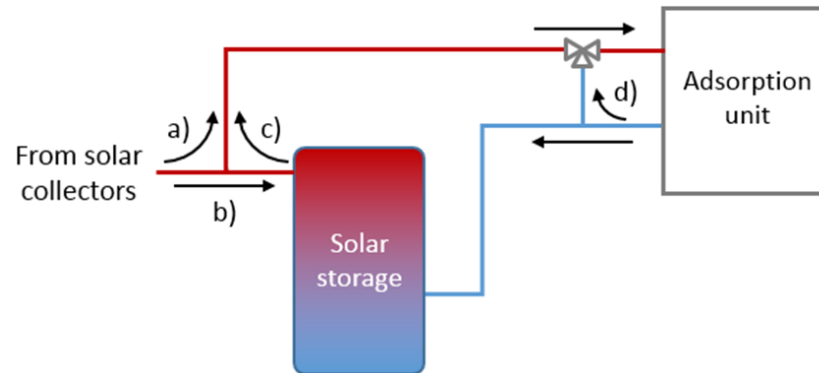




# Diseño del sistema

## Diseño de la máquina de adsorción

### Conexión del circuito de activación



2 escenarios:

- $\dot{V}_{Solar\_col} > \dot{V}_{AdHP}$ : a) + b)
- $\dot{V}_{Solar\_col} < \dot{V}_{AdHP}$ : a) + c)

Si se desea una temperatura definida en el circuito de activación de la Máq. de adsorción, una válvula de 3 vías es usada para mezclar el retorno (d).

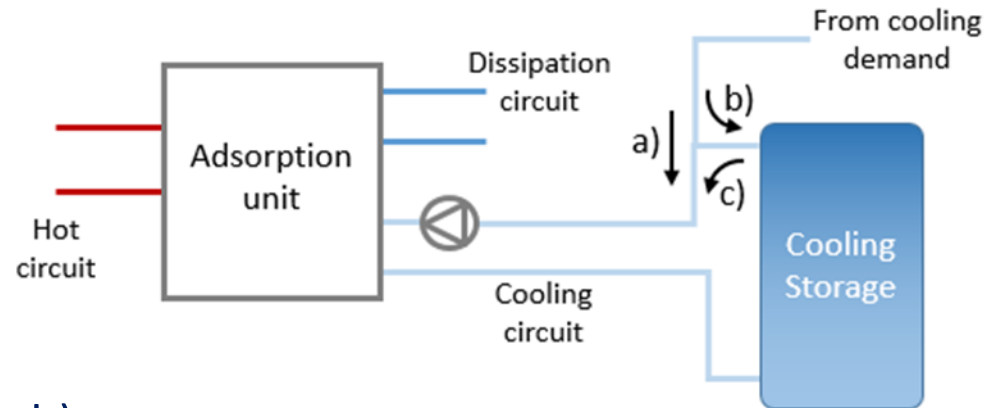




# Diseño del sistema

## Diseño de la Máquina de adsorción

### Conexión del circuito de refrigeración



2 escenarios:

- $\dot{V}_{Demand} > \dot{V}_{AdHP}$ : a) + b)
- $\dot{V}_{Demand} < \dot{V}_{AdHP}$ : a) + c)

En serie con el sistema auxiliar: 1º Máq. Adsorción – 2º Sistema auxiliar





# Diseño del sistema

## Diseño de la máquina de adsorción

Conexión del circuito de disipación: al equipo de disipación (sin aislamiento en tuberías)

Operación en modo calefacción:

- Circuito de temperatura media como fuente de calor para la demanda
- Circuito de baja temperatura como bomba de calor (al equipo de disipación para obtener calor de la fuente externa)

Emplazamiento de la unidad:

Colocado en el interior o en un ambiente protegido (5 – 45 °C), evitar principalmente riesgo de congelación





# Diseño del sistema

## Diseño del equipo de disipación

Foco de disipación: aire ambiente

Equipo: aerodisipador

Se podría reemplazar por otro foco o equipo de disipación si disponible/permitido

Equipo también usado para disipación del exceso producción solar (con mejores prestaciones ya que DT entre el primario y Fuente de disipación es mayor).

Considerar:

- Limitaciones de espacio
- Normativas municipales y nacionales





# Diseño del sistema

## Diseño del Sistema de Back-up

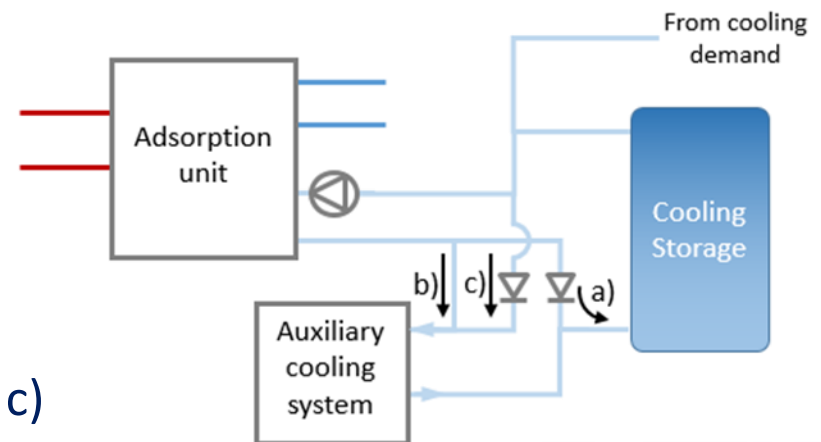
Posibilidades de diseño:

- Sistema Back-up: apoyo cuando el sistema renovable no puede funcionar. Explotación esporádica.
- Sistema auxiliar: complementando la producción base del sistema renovable. Explotado a menudo.

En serie al sistema renovable.

Opciones de operación:

- Solo la máquina de adsorción: a)
- Ambos sistemas en serie: b)
- Solo sistema auxiliar de refrigeración: c)





# Dimensionamiento del sistema

## Consideraciones

Costes principales de sistemas renovables: inversión (gran inversión por unidad de potencia)

Ahorros de sistemas renovables: dependen de la cantidad de energía producida (número de horas de explotación de la potencia instalada).

Para ser económicamente competitivo:

- minimizar la capacidad instalada
  - maximizar la energía producida
- } Maximizar el tiempo de explotación

Beneficiado por:

- Uso de sistemas de almacenamiento
- Combinación con sistemas convencionales para cubrir los picos de demanda





# Dimensionamiento del sistema

## Consideraciones

Explotación de la máquina de adsorción depende de:

- Demanda de refrigeración
- Energía solar disponible

Máquina de adsorción dimensionada de forma:

- Es altamente explotada
- Su explotación no se ve usualmente limitada (en tiempo y potencia) por:
  - Baja demanda
  - Falta de energía solar





# Dimensionamiento del sistema

## Dimensionamiento de la instalación solar térmica

Objetivo: producir la energía solar diaria necesaria para activar la máquina de adsorción las horas de explotación requeridas.

Orientación e inclinación de los colectores optimizada como de costumbre:

- Considerar elementos de sombreado
- Considerar las normativas nacionales y municipales
- Superficie solar disponible

Regla general:

- Orientación óptima mirando hacia el ecuador
- Inclinación óptima similar a la latitud del lugar (ángulos menores maximizan la producción en verano, ángulos mayores maximizan la producción en invierno)





# Dimensionamiento del sistema

## Dimensionamiento de la instalación solar térmica

Número de colectores en serie determinado por:

- Caudal recomendado por el fabricante de los captadores
- Temperatura de salida deseada
- Radiación del lugar

Bomba de circulación de flujo variable para conseguir en lo posible la temperatura de salida deseada.

Mecanismo de prevención para el exceso de producción solar debe ser considerado (Equipo de disipación de la máquina de adsorción).







# Dimensionamiento del sistema

## Dimensionamiento de la instalación solar térmica

Particularidades del controlador:

- 2 set-points:
  - Set-point de invierno: temperatura necesaria para satisfacer las demandas de ACS y calefacción
  - Set-point de verano: temperatura requerida para la activación de la máquina de adsorción
- En caso de almacenamiento con tanque doble: las reglas de operación dependen de las temperaturas monitorizadas en ambos tanques.





# Dimensionamiento del sistema

## Dimensionamiento de la instalación solar térmica

Almacenamiento solar:

- Suficiente para almacenar toda la producción solar diaria en los días más soleados
- Alcanzar temperaturas útiles en invierno (volumen no demasiado grande)

Limitado por la disponibilidad de espacio y la carga máxima admisible del forjado

Sistema con 2 tanques:

Menores limitaciones debido a la carga admisible del forjado

Cada tanque  $\sim 1/2$  del almacenamiento total (o 1º tanque ligeramente mayor que el 2º)





# Dimensionamiento del sistema

## Dimensionamiento de la máquina de adsorción

Objetivo: maximizar la explotación de la potencia instalada

Sin restricciones para instalación solar → Máquina adsorción diseñada para maximizar la producción de frío

- Operación buscando la máxima potencia
- Potencia de la unidad definida a partir de la energía diaria de refrigeración demandada y las horas diarias de explotación.

Instalación solar restringida → Máquina de adsorción dimensionada en relación a la energía solar en los días de verano

- Operación buscando las prestaciones de máxima eficiencia térmica
- Potencia de la unidad definida a partir de la energía solar diaria disponible en verano y las horas de explotación diarias





# Dimensionamiento del sistema

## Dimensionamiento de la máquina de adsorción

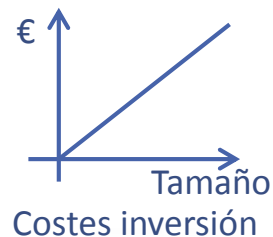
Si se requieren intercambiadores de calor para la separación de circuitos:

- Consumo eléctrico adicional de las bombas de circulación
- Pérdida de nivel de  $T^a$  (peores condiciones de  $T^a$  para las prestaciones de la unidad). Crítico en circuito de disipación y refrigeración.

Intención: gran intercambio de calor entre fluidos con DT y DP pequeños

Solución: intercambiador de placas de flujo cruzado

Balance: Inversión vs ahorro (optimizar el periodo de retorno)





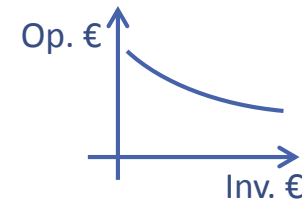
# Dimensionamiento del sistema

## Dimensionamiento del equipo de disipación

Aerodisipador

- Maximizar intercambio de calor
- ↓
- Minimizar DT introducido entre fluidos
- Minimizar bombeo introducido
- Implica coste de inversión
- Balance: Costes de inversión vs Costes de operación

Minimizar los costes de operación



Solución sugerida: DT 2~3 K entre  $T_{sal_{HTF}}$  y  $T_{foco}$

Considerar la disipación del exceso de producción solar





# Dimensionamiento del sistema

## Dimensionamiento del almacenamiento de frío

Cantidad de energía a almacenar:

- Potencia de la Máquina de adsorción
- Horas de explotación (depende de la energía solar almacenada)
- Demanda de refrigeración en las horas de carga
- Variación de temperatura de la masa del almacenamiento

Evaluada para el día de máxima demanda de almacenamiento (principios del verano):

- Alta producción solar
- Bastantes horas con baja demanda de refrigeración





# Dimensionamiento del sistema

## Dimensionamiento del sistema de Back-up

Potencia dimensionada para satisfacer la posible máxima potencia de demanda de refrigeración imprescindible.

### Casos:

- Sistema Back-up: apoyo cuando el sistema renovable no puede funcionar. Explotación esporádica.
- Sistema auxiliar: complementando la producción base del sistema renovable. Explotado a menudo.





# Optimización de la operación

Operación óptima depende de si la limitación es la energía solar disponible o la demanda de refrigeración.

Prestaciones de la máquina de adsorción (potencia,  $COP_{\text{Térmico}}$  y  $COP_{\text{eléctrico}}$ ) depends on:

- $\downarrow T_{\text{disip}} \rightarrow \uparrow \text{Potencia} + \uparrow COP_{\text{Térmico}} + \uparrow COP_{\text{eléctrico}}$
- $\uparrow T_{\text{refrig}} \rightarrow \uparrow \text{Potencia} + \uparrow COP_{\text{Térmico}} + \uparrow COP_{\text{eléctrico}}$
- $\uparrow T_{\text{activación}} \rightarrow \uparrow \text{Potencia but } \downarrow COP_{\text{Térmico}} + \downarrow COP_{\text{eléctrico}}$

Siempre deseable operar:

- La menor  $T^a$  en el circuito de disipación
- La mayor  $T^a$  en el circuito de refrigeración
- $T^a$  circuito de activación dependerá del caso (potencia vs eficiencia)







# Optimización de la operación

## Baja $T^a$ en el circuito de disipación

- Maximizar el intercambio de calor en el equipo de disipación
- Equipo de disipación al 100% → Costes de operación grandes

Balance: disipar la energía requerida con costes de operación admisibles

Referencia:  $T_{sal_{HTF}} - T_{ambiente} = 2 \sim 3 \text{ K}$

## Alta $T^a$ en el circuito de refrigeración

- Proporcionar la energía de refrigeración a la mayor  $T^a$  admisible
- Depende del terminal de emisión y la DT entre  $T_{aire\ zona}$  y  $T_{HTF}$





# Optimización de la operación

## Optimización de la temperatura del circuito de activación

- Sin limitaciones para producción solar → Operación maximizando la potencia de la unidad: alta  $T^a$  de entrada a circuito de activación
- Sistema solar limitado → Operación maximizando la eficiencia térmica:  $T^a$  entrada al circuito de activación para conseguir la máxima eficiencia térmica

Si existe excedente solar la operación es modificada:

- 1. Menor  $T^a$  de producción de frío (mayor carga del almacenamiento)
- 2. Aumentar la  $T^a$  de entrada circuito de activación (mayor potencia)
- Disipación en el equipo de disipación





# Optimización de la operación

Operación del sistema solar: caudal variable manteniendo  $T^a$  salida deseada (en invierno para calefacción, en verano para la máquina de adsorción)

Operación del sistema de tanque doble:

## Estado 1

- 1º tanque: almacenamiento solar
- 2º tanque: depósito calor (a  $T^a$  requerida demanda, cargado desde tanque 1º)

1º tanque cargado



$T_{sup}$  1º tanque  $<$   $T_{demanda}$  requerida

## Estado 2

Ambos tanques conectados en serie para almacenamiento solar

Temperaturas requeridas en cada tanque:

- ACS y calefacción provistos desde 2º tanque
- Máquina adsorción provista desde 1º tanque (solo temporada refrigeración)





POLITECNICO  
MILANO 1863

tecnalia



THERMOWATT



Para una explicación más detallada diríjase a:

Heat4Cool\_D6.3\_Trainings and Guidelines. Adsorption Heat Pump driven by Solar Thermal Energy. Design and sizing Guidelines.

Solintel

Sunamp  
Heat Batteries™



IZNAB Sp. z o.o.  
"Innovation Oriented To Business"



FAHRENHEIT

# HEAT4COOL

HOCHSCHULE  
LUZERN

heat4cool.eu



Heat4COOL project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under grant agreement No 723925