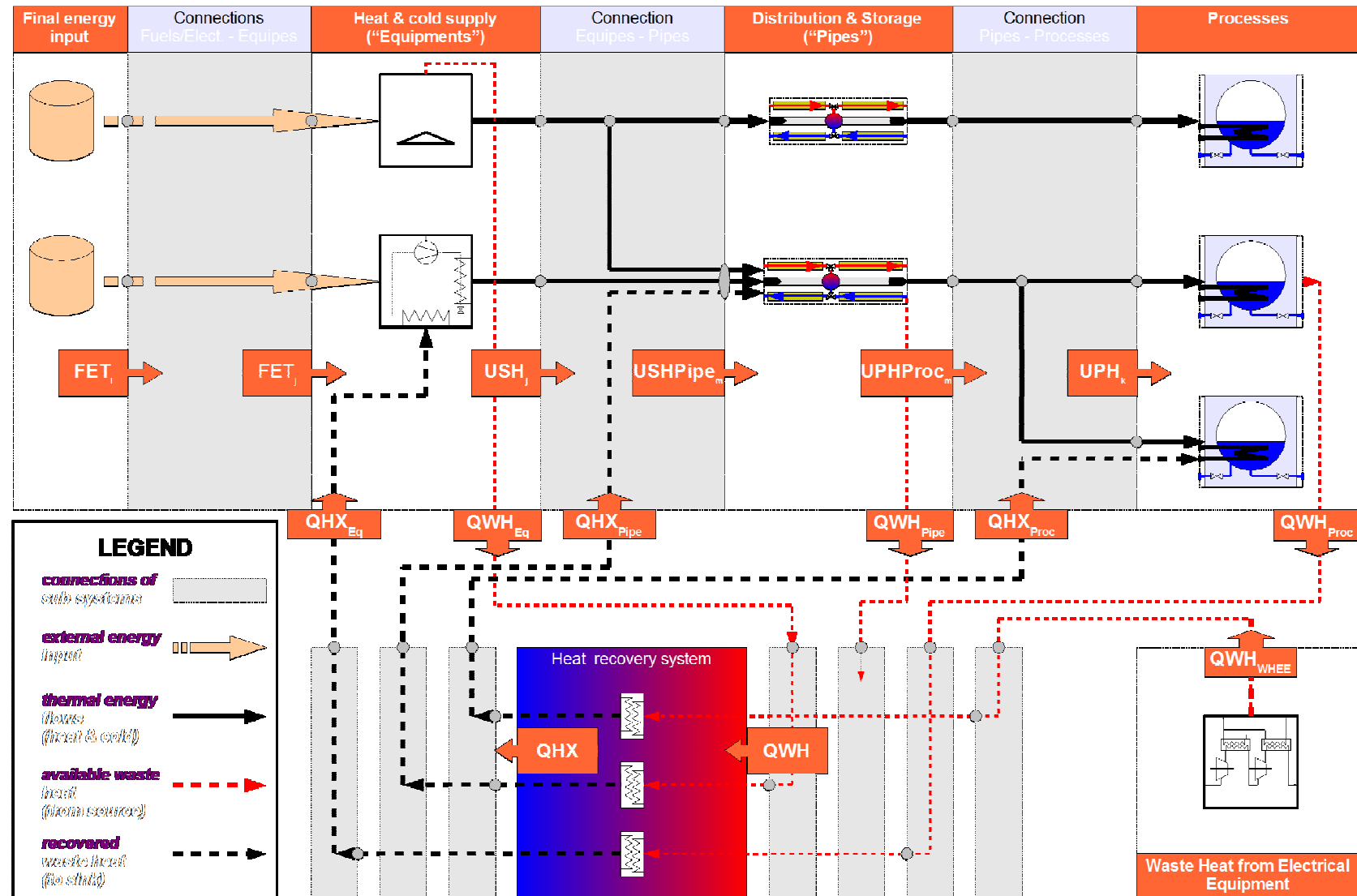


# AT03

## *Módulo de refrigeración*

# Esquema

**EINSTEIN** thermal energy  
industry audit



Parámetros: USH – USC, UPH – UPC, QWH – QWC

# Equipos de refrigeración

EINSTEIN incluye 7 equipos de refrigeración:

1. Enfriadora de compresión: produce agua fría (evaporación indirecta), consume electricidad
  - a) Refrigerada con agua: evacúa el calor al medio ambiente mediante una torre de refrigeración húmeda (condensación indirecta)
  - b) Refrigerada con aire: evacúa el calor al medio ambiente (heat rejection) directamente con aire (condensación directa).
2. Enfriadora térmica: equivalente a una enfriadora de compresión, que usa energía térmica en vez de eléctrica (enfriadoras por absorción, adsorción)
  - a) Refrigeradas con agua
  - b) Refrigeradas con aire
3. Torre de refrigeración (seca): se produce agua fría en la torre mediante circulación de aire
4. Torre de refrigeración (húmeda): se produce agua fría en la torre mediante circulación de aire y agua
5. Agua de fresca o de pozo: el agua fría se extrae de un río o un pozo

# Teoría del módulo de frío

- La generación de frío USC se calcula en EINSTEIN partiendo de la demanda de proceso
- El consumo eléctrico se calcula:

$$FETj(t) = \frac{USCj(t)}{EER_{sys}(t)}$$

- USCj: energía suministrada por el equipo de frío
- FETj: energía (electricidad) consumida en el equipo de frío
- $EER_{sys}$ : ratio de eficiencia energética considerando los niveles de temperatura y las pérdidas de eficiencia por carga parcial (si aplicable)

# Teoría del módulo de frío

$$FET_j(t) = \frac{USC_j(t)}{EER_{sys}(t)}$$

- Valores de  $EER_{sys}$  para torres de refrigeración (seca y húmeda), y agua fresca, considerados como constantes (22,222; 33,333 y 100 respectivamente)
- Valores de  $EER_{sys}$  para enfriadoras refrigeradas con agua o aire dependen de:
  - Temperatura de evaporación
  - Temperatura de condensación
  - Ratio de carga parcial

# Teoría del módulo de frío

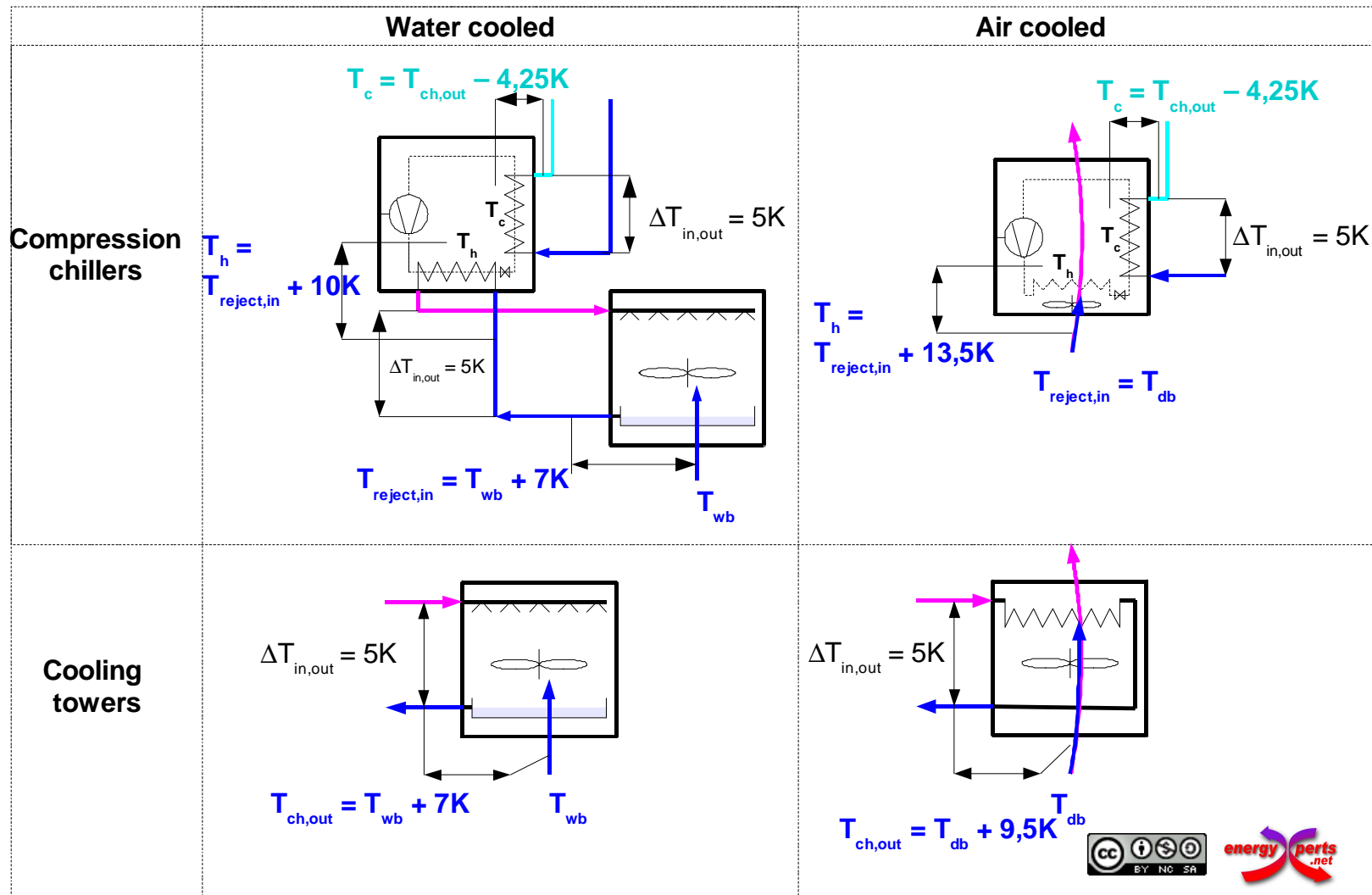
- Temperatura de condensación y evaporación :
  - EER se calcula con la eficiencia teórica de Carnot a partir de los parámetros del usuario (temperatura de calor/frío suministrado y temperatura de re-cooling (evacuación de calor)), corregido para obtener las temperaturas de evaporación y condensación  $T_c$  y  $T_h$

$$EER_{carnot}(T_c, T_h) = \frac{T_c [K]}{(T_h - T_c)}$$

- La eficiencia teórica de Carnot se corrige con el parámetro  $\eta_{ex,nom}$  ( obtenido a partir de la EER nominal entrada por el usuario)

$$EER_{ch, real, fullLoad}(t) = \eta_{ex, nom} * EER_{carnot}(T_{c, real}(t), T_{h, real}(t))$$

# Teoría del módulo de frío



# Teoría del módulo de frío

- Carga parcial:
  - La EER en plena carga se corrige para considerar el comportamiento a carga parcial:

$$EER_{ch, real} = EER_{ch, real, fullLoad} * PLC$$

- En EINSTEIN v2.0, PLC se calcula como:

$$PLC = 0.9 + 0.1 * PLR_{average}$$

- $PLR_{media}$  es el ratio entre la potencia frigorífica actual y la potencia frigorífica nominal (máxima):

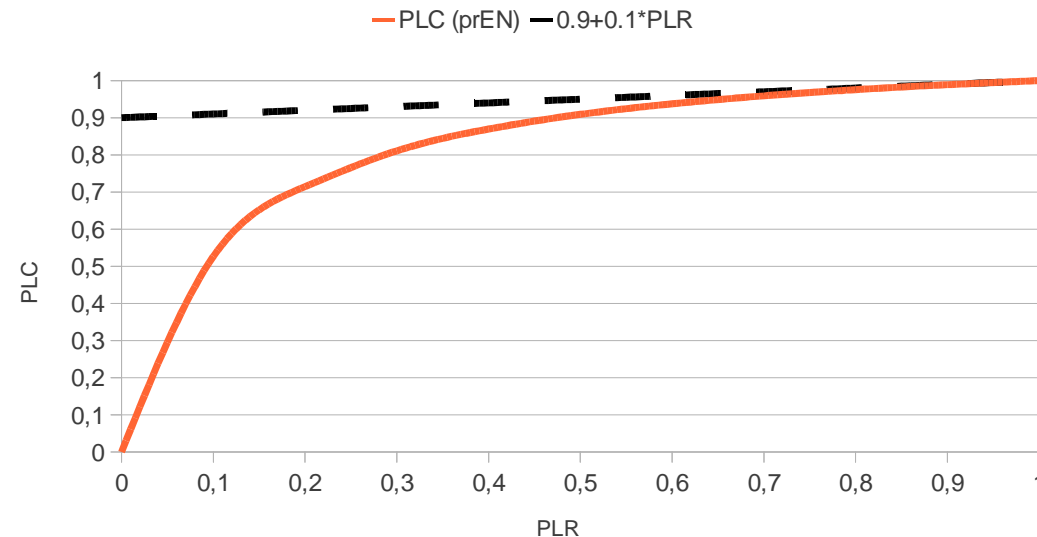
$$PLR = Q_{Load} / Q_{Nom}$$



# Teoría del módulo de frío

- La aproximación de la carga parcial en EINSTEIN (línea negra) es, por razones de modelización, muy simplificada en comparación con el comportamiento real de la enfriadora a (línea naranja)

**EINSTEIN**  
thermal energy  
industry audit



- Los auditores tienen que tener en cuenta que, en caso de una fuerte variación en el suministro de frío, el consumo de electricidad calculado se verá probablemente subestimado

# Modelización de los equipos

**EINSTEIN**  
thermal energy  
industry audit

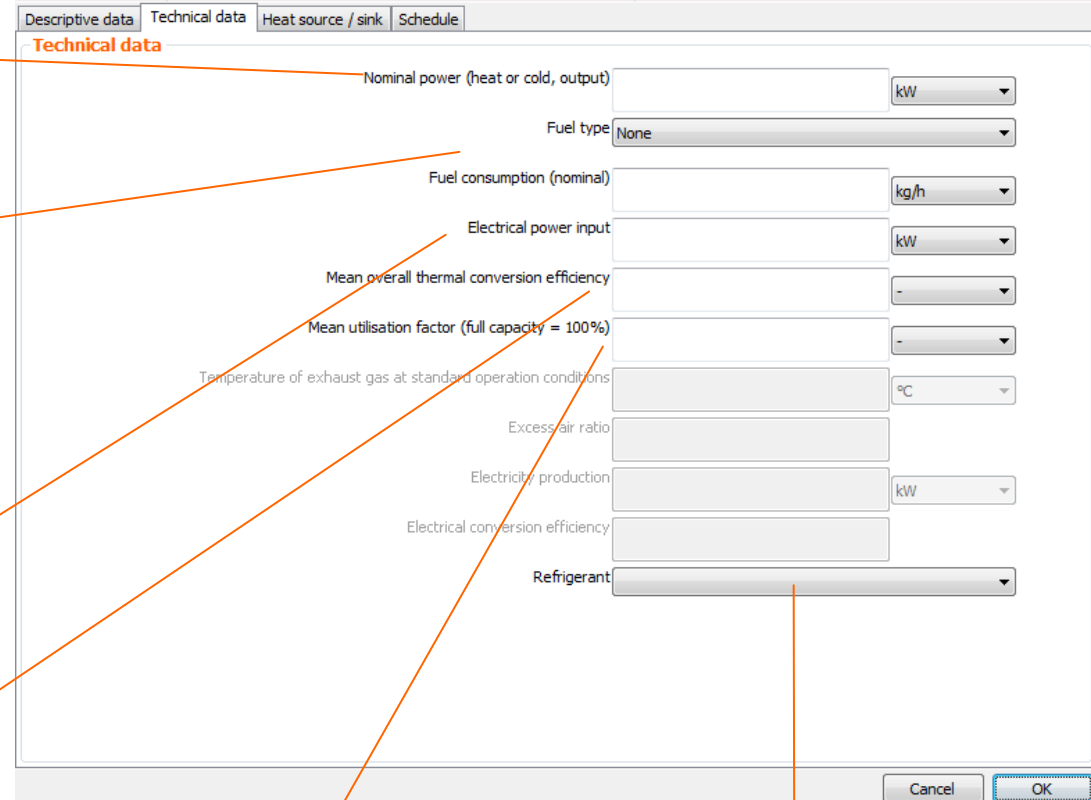
**Potencia frigorífica del equipo**

**Tipo de fuel y consumición = «none» para equipos de compresión mecánica**

**Potencia eléctrica del equipo**

**EER de la enfriadora a carga plena y condiciones de operación nominales**

**$PLR = Q_{Load} / Q_{nom}$   
(calculado por EINSTEIN)**



Descriptive data | **Technical data** | Heat source / sink | Schedule

**Technical data**

Nominal power (heat or cold, output)  kW

Fuel type  None

Fuel consumption (nominal)  kg/h

Electrical power input  kW

Mean overall thermal conversion efficiency  -

Mean utilisation factor (full capacity = 100%)  -

Temperature of exhaust gas at standard operation conditions  °C

Excess air ratio

Electricity production  kW

Electrical conversion efficiency

Refrigerant

Cancel OK

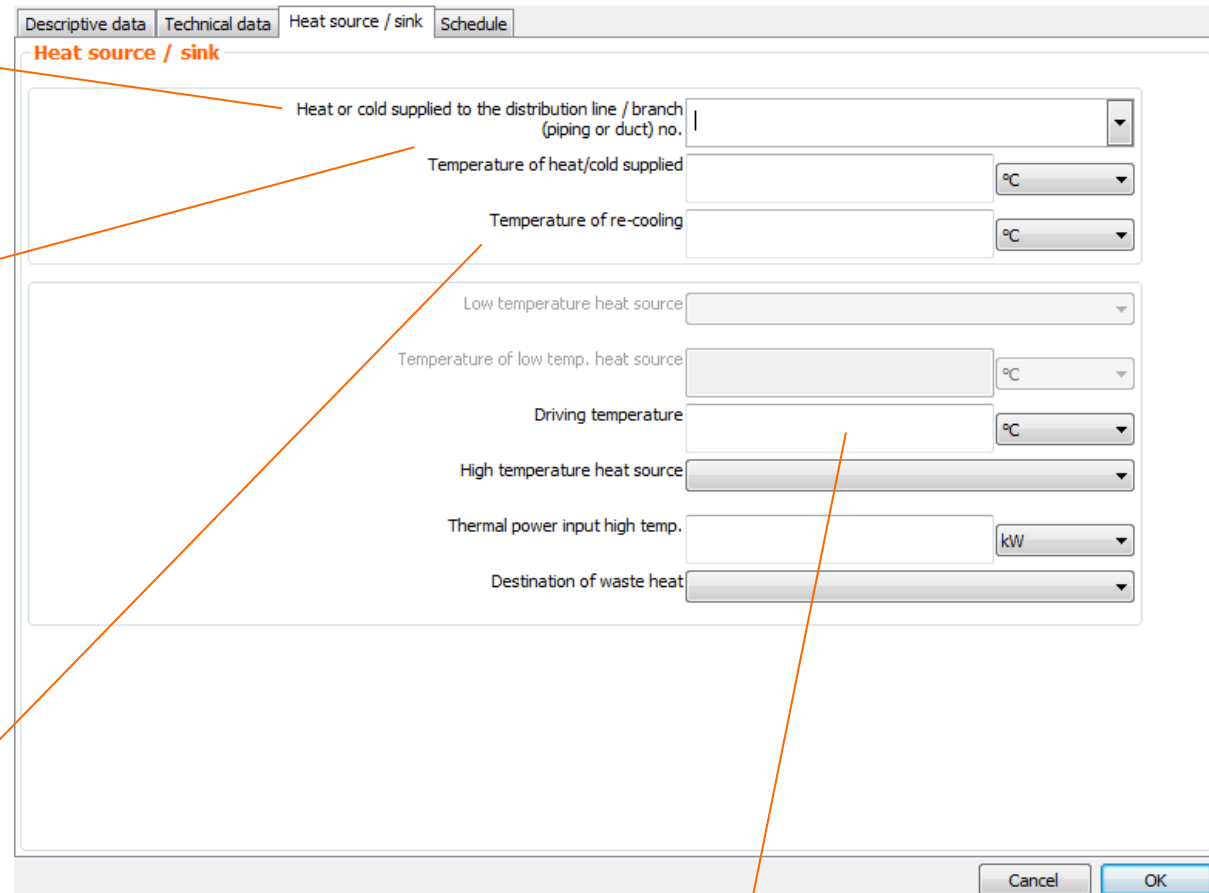
**Tipo de refrigerante no se considera en la versión v2.0**

# Modelización de los equipos

**Rama de  
distribución de frío**

**Temperatura del  
agua fría generada  
en el equipo**

**Temperatura del aire  
(enfriadoras refrigeradas  
por aire) o agua  
(enfriadoras refrigeradas  
por agua) de  
refrigeración**



Descriptive data | Technical data | **Heat source / sink** | Schedule

**Heat source / sink**

Heat or cold supplied to the distribution line / branch (piping or duct) no.

Temperature of heat/cold supplied  °C

Temperature of re-cooling  °C

Low temperature heat source

Temperature of low temp. heat source  °C

Driving temperature  °C

High temperature heat source

Thermal power input high temp.  kW

Destination of waste heat

Cancel OK

**Parámetros no relevantes  
para las enfriadoras de  
compresión mecánica**

# Calibración de la simulación de los equipos de frío

Diferencias entre la simulación de resultados y el estado actual pueden ser consecuencia de: las condiciones de operación nominales asumidas son diferentes a las condiciones de operación asumidas en la simulación:

- ⇒ La temperatura de suministro en las simulaciones está determinada por la temperatura mínima requerida en las conexiones de los procesos
- ⇒ La temperatura de evacuación de calor (heat rejection) en las simulaciones está determinada por la temperatura ambiente (temperatura de bulbo seco o húmedo dependiendo del sistema) y los saltos de temperatura de defecto (dependen del sistema)

Cómo calibrar las simulaciones:

- Adaptar el EER nominal para obtener el EER real
- Adaptar las condiciones nominales de operación (temperatura del agua/aire frío y la temperatura de evacuación (rejection)) → igualar la media real de las condiciones de operación

Objetivo: => igualar el consumo de energía final (electricidad) en el estado actual y en la simulación