

MODULO 2.1

Eficiencia energética en EINSTEIN

Optimización del proceso y recuperación de calor

Diseño conceptual de opciones de ahorro y objetivos preliminares energéticos

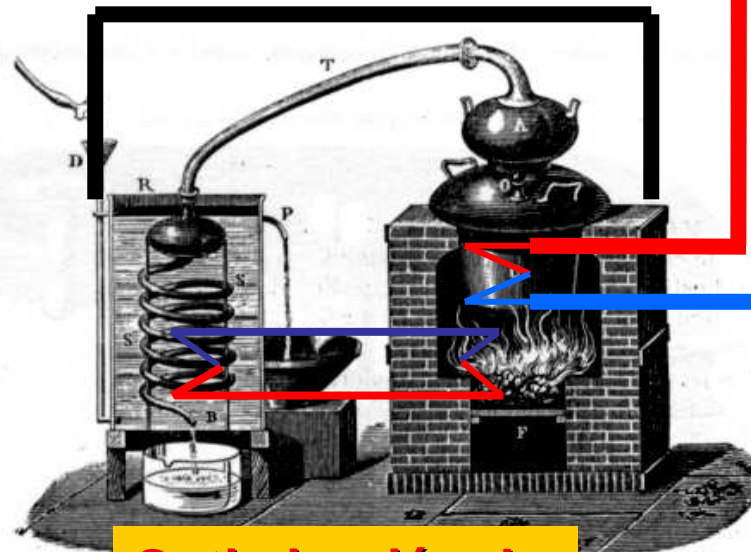
EINSTEIN piensa lógicamente,
entonces, los ahorros de energía es lo
primero!

- ✓ Desde el punto de vista de la demanda
- ✓ Desde el punto de vista del suministro

Paso 7: Diseño conceptual de opciones de ahorro y objetivos preliminares energéticos



Sistema
refrigeración



Destilación

Optimización de
proceso



Energía renovable

Sistema
calefactor



Paso 7: Diseño conceptual de opciones de ahorro y objetivos preliminares energéticos

Pasos para el ahorro de energía :

1. Reducción de la demanda de calor del proceso a través de **Optimización de procesos**
2. Reducción del suministro de calor requerido a través de la **recuperación de calor e integración de procesos**
3. Cogeneración y poligeneración
4. Tecnologías eficientes en el suministro y fuentes de energía renovables **bajo consideraciones exergéticas**

Paso 7.1 y 7.2:

Optimización del proceso y lado de la demanda



✓ **META**

- Mejora energética de los procesos productivos
- Mejora de la demanda de energía de los edificios

✓ **Fuentes de medidas de eficiencia energéticas**

- Documentos de referencia BAT (BREFs)
- Informe EINSTEIN “*Prácticas y herramientas de las auditorías energéticas*” (incluye herramientas para optimización de edificios)
- BD de Einstein de optimización de procesos...

paso 7.1 y 7.2: Optimización de proceso

...una **Base de datos** para eficiencia energética

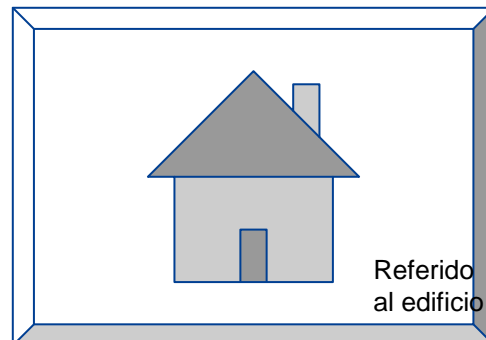
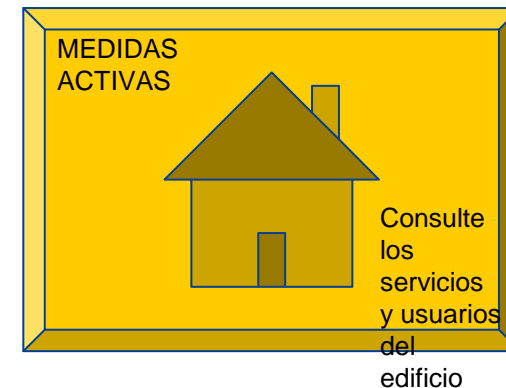
- ✓ Metodologías y medidas de ahorro generales
 - Ej. Uso en cascada del agua de lavado, etc.
- ✓ Tecnologías diferentes para una unidad de producción
 - Ej. evaporación – recompresión termal del vapor, recompresión mecánica del vapor, evaporación al vacío, etc.
- ✓ Medidas de eficiencia que pueden ser aplicadas a tecnologías específicas
 - E.g. Recuperación de calor residual, regulación óptima del secado,
- ✓ Aplicabilidad de tecnologías/medidas a diferentes sectores
 - Favoreciendo sinergias entre soluciones aplicadas a diferentes sectores

STEP 7.1 y 7.2: Optimización de procesos para edificios

EINSTEIN
thermal energy
industry audit

- **EINSTEIN utiliza las demandas de calefacción de los edificios como entrada para la optimización del sistema**
- **Referido a los edificios, se pueden definir los servicios y las medidas BÁSICAS y ACTIVAS de los usuarios**

- ✓ Sistema de calefacción optimizado
- ✓ Uso de fuente de energía renovable
- ✓ Sistema de control de calefacción optimizado
- ✓ Sistema de ventilación optimizado
- ✓ Sesiones informativas/ comportamiento



- ✓ Aislamiento exterior completo
- ✓ Ventanas/puertas optimizadas térmicamente
- ✓ Hermaticidad al aire
- ✓ Provisión externa de sombra
- ✓ Refrigeración natural

STEP 7.1 y 7.2:

Optimización de procesos para edificios

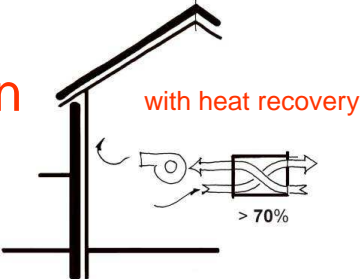
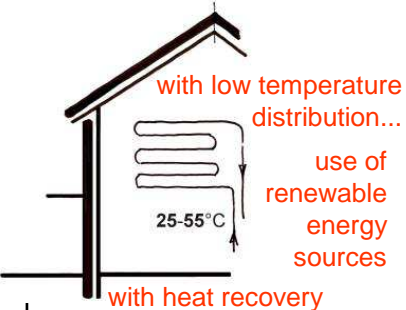
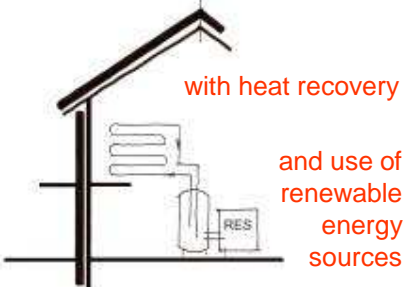


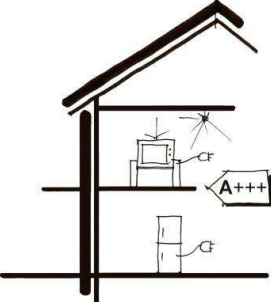
Las zonas climáticas en la UE pueden dividirse en cálidas, templadas y frescas dependiendo de:

- ✓ **La temperatura exterior mínima y media durante**
- ✓ **Temperatura exterior media durante el verano**
- ✓ **Días de grado de calefacción**
- ✓ **Radiación solar**

STEP 7.1 y 7.2: Optimización de procesos para edificios

...para calefacción y refrigeración en diferentes zonas climáticas

EINSTEIN thermal energy industry audit

...En cuanto*	W warm	T temperate	C cool
Calefacción	<p>insulation, airtightness and optimized ventilation system</p>  <p>with heat recovery</p>	<p>insulation, airtightness, optimized ventilation and heating system</p>  <p>with low temperature distribution...</p> <p>use of renewable energy sources</p> <p>with heat recovery</p>	<p>insulation, airtightness, optimized ventilation and heating system</p>  <p>with heat recovery</p> <p>and use of renewable energy sources</p>
Refrigeración	<p>natural cooling, external shadowing, user's briefing/behaviour and optimized ventilation</p>  <p>with free cooling</p>	<p>external shadowing, user's briefing/behaviour</p>  <p>and some more natural cooling measures</p>	<p>user's briefing/behaviour and external shadowing</p> 

* Source: AEE INTEC, verified by SQUARE partners

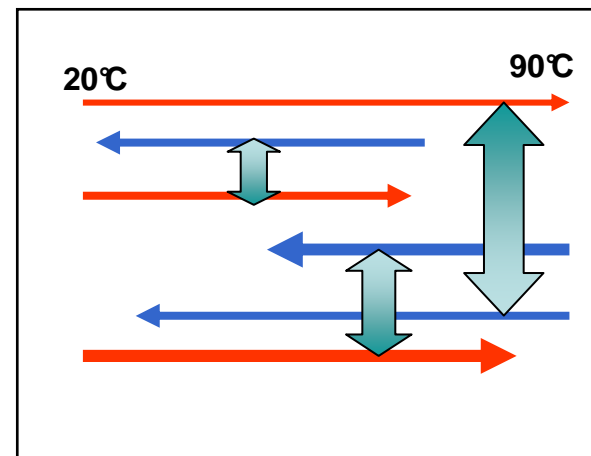
PASOS 7.3 y 7.4: potencial de HR teórica y HX de prediseño y almacenamiento

7.3 Potencial de recuperación de calor

- ✓ análisis de la demanda externa mínima de calor y frío
- ✓ Potencial para la recuperación de calor

7.4 Diseño de redes de intercambiadores de calor

- ✓ Reducción de la demanda de energía y niveles de temperatura requeridos -> base para integración óptima exergética de suministro de calor y frío



PASOS 7.3 y 7.4: potencial de HR teórica y HX de prediseño y almacenamiento

- ✓ Ubicación del diseño del sistema de recuperación de calor dentro de la metodología de la auditoría:
 - ✓ Anterior al nuevo diseño de suministro de energía
 - ✓ Posible recálculo con nuevos sistemas de suministro
 - Corrientes de energía basadas en que los equipos de generación de calor/frío podrían cambiar

Paso 7.3: Potencial de HR teórica

✓ META:

Potencial teórico de ahorro de energía savings por recuperación de calor (previo diseño del sistema de suministro de energía)

- Ahorro de combustible y evita sobredimensionamiento de los equipos de suministro

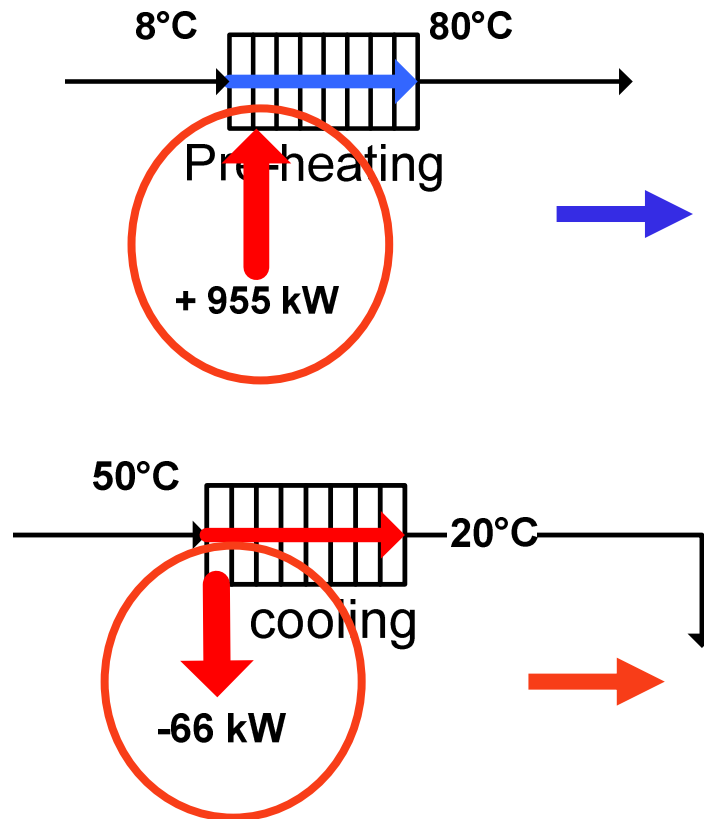
✓ Metodología

- Desde suministro de energía y procesos a „flujos“
- Análisis Pinch
 - Curvas compuestas de calor y frío
 - Gran curva compuesta (Grand Composite Curve)

✓ Resultados:

- Potencial teórico de recuperación de calor
- Suministro necesario externo de calor /frío a diferentes niveles de temperatura

Paso 7.3: Potencial de HR teórica



„*Flujos fríos*“ son los que necesitan ser calentados

Cualquier proceso en el que es **necesario calentar** el flujo/fluido de proceso.

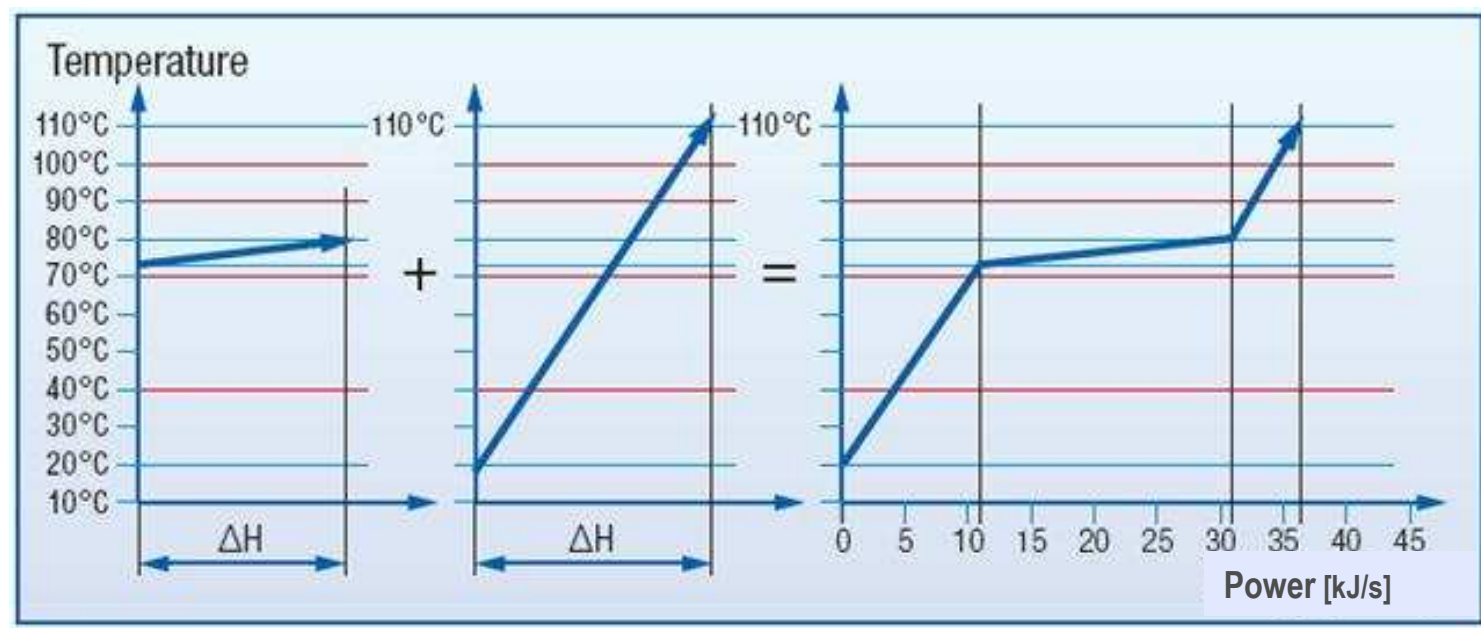
„*Flujos calientes*“ son los que necesitan ser enfriados.

Cualquier proceso en el que es **necesario enfriar** el flujo/fluido de proceso.

Paso 7.3: Potencial de HR teórica

✓ Curvas compuestas:

Adición de vectores que representan la demanda por potencia y temperatura (= flujos de energía)

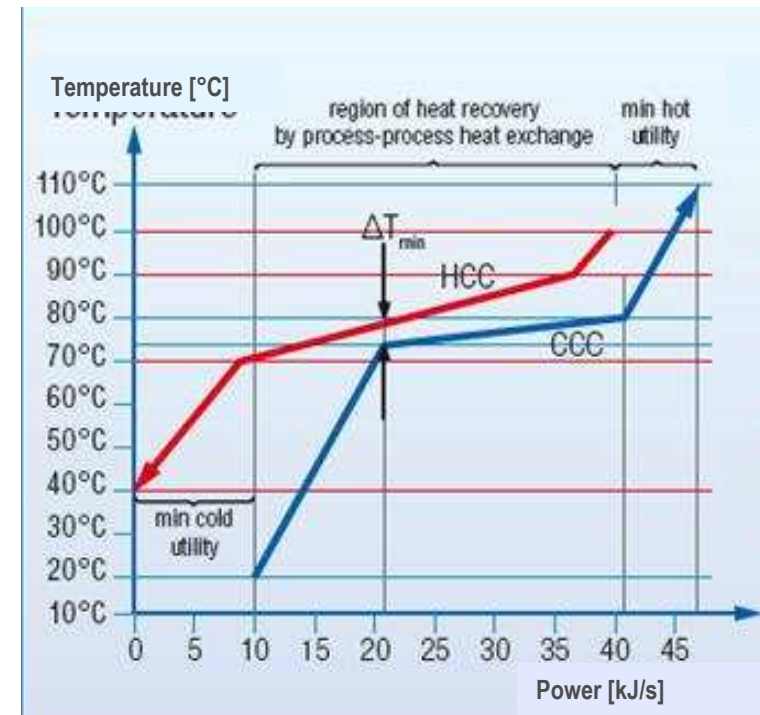


Paso 7.3: Potencial de HR teórica

– Curvas Compuestas Fría y Caliente (HCC / CCC)

✓ Temperatura pinch – separa es sistema en dos partes:

- Por encima del Pinch – no es necesario enfriar
- debajo del Pinch – no es necesario calentar
- No debe ser transferida energía a través del Pinch (uso termodinámico eficiente de la energía)



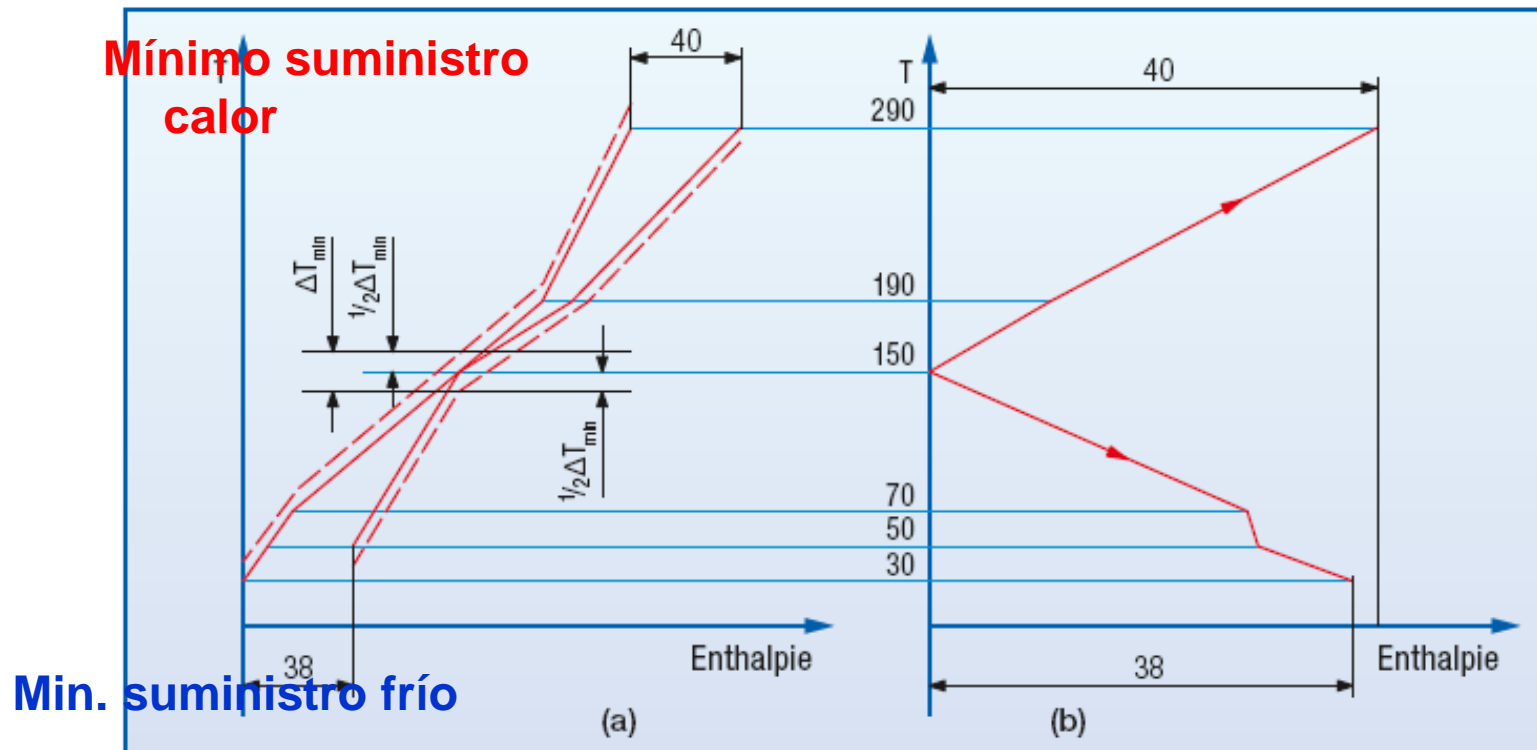
Paso 7.3: Potencial de HR teórica

✓ Gran Curva Compuesta (GCC)

✓ Muestra:

- La energía de suministro ideal externa necesaria para calentar o enfriar los flujos.
- A qué temperatura se tiene que suministrar el calor del externo

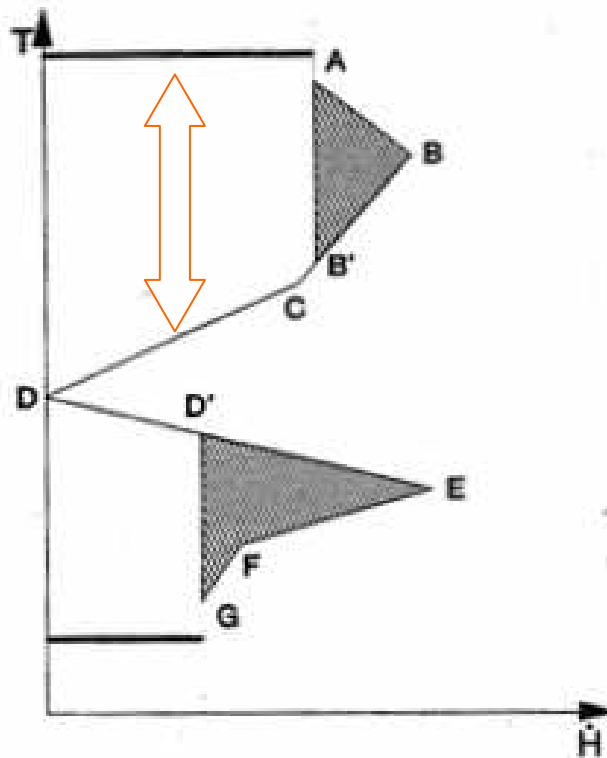
EINSTEIN thermal energy industry audit



Paso 7.3: Potencial de HR teórica

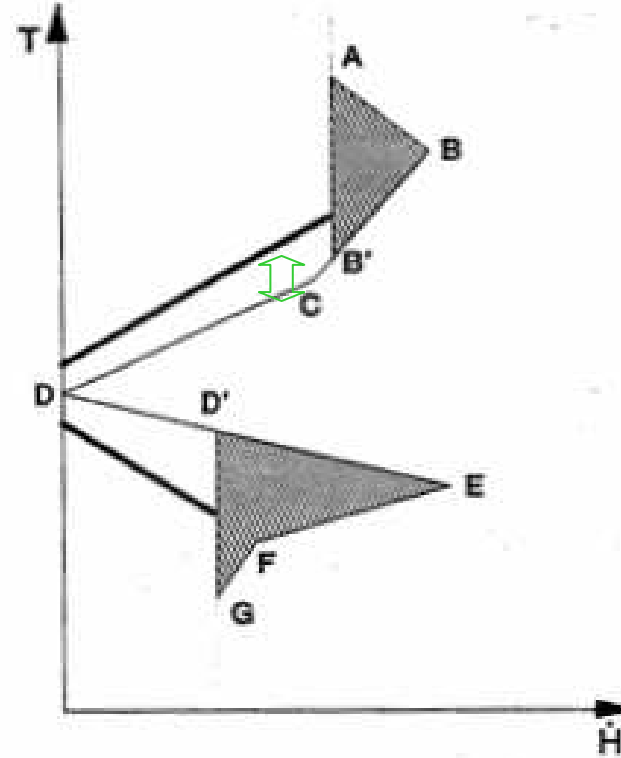
✓ Gran Curva Compuesta (GCC) y suministro de calor

(a) Alta pérdida de exergía



(a)

(b) Nivel ideal de temperatura



(b)

Paso 7.3: Potencial de HR teórica

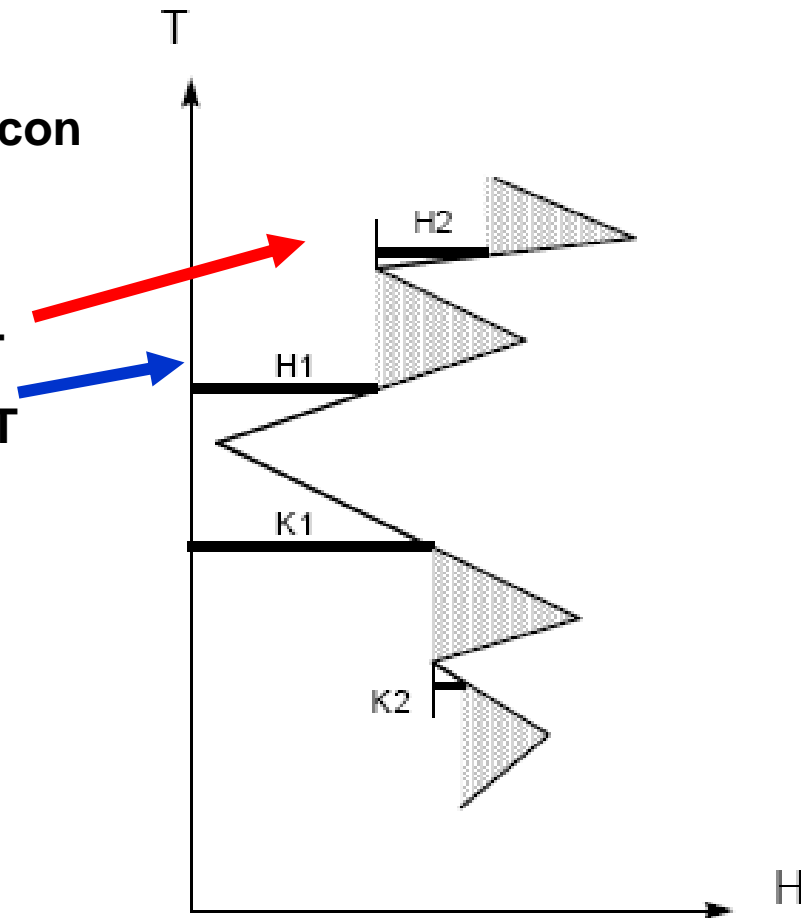
✓ Gran Curva Compuesta (GCC)

y suministro de calor

Aproximación a la temperatura ideal con una cascada de suministro de calor:

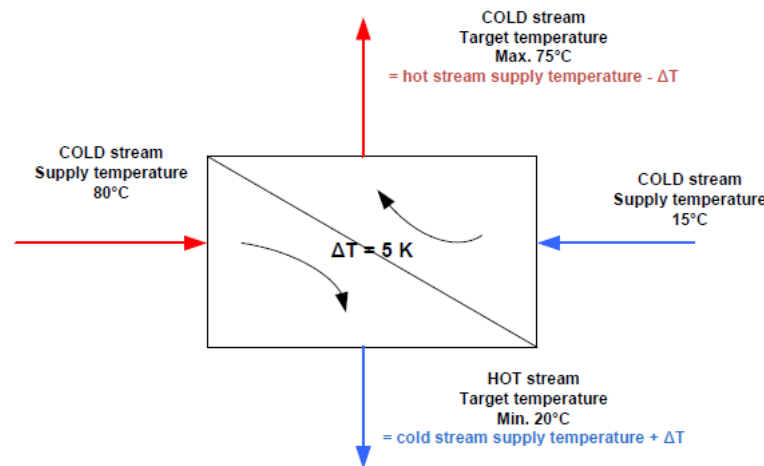
H2: suministro de calor de alta T

H1: suministro de calor de baja T



Paso 7.3: Potencial de HR teórica

- ✓ Elección de ΔT_{\min} como primer concepto
 - ✓ En un intercambiador de calor con flujo contra-corriente la T final del flujo frío puede alcanzar como máximo la T de inicio del flujo caliente menos la ΔT_{\min} .
 - ✓ En un intercambiador con flujo contra-corriente la T final del flujo caliente puede alcanzar como mínimo la T inicial del flujo frío más la ΔT_{\min} .

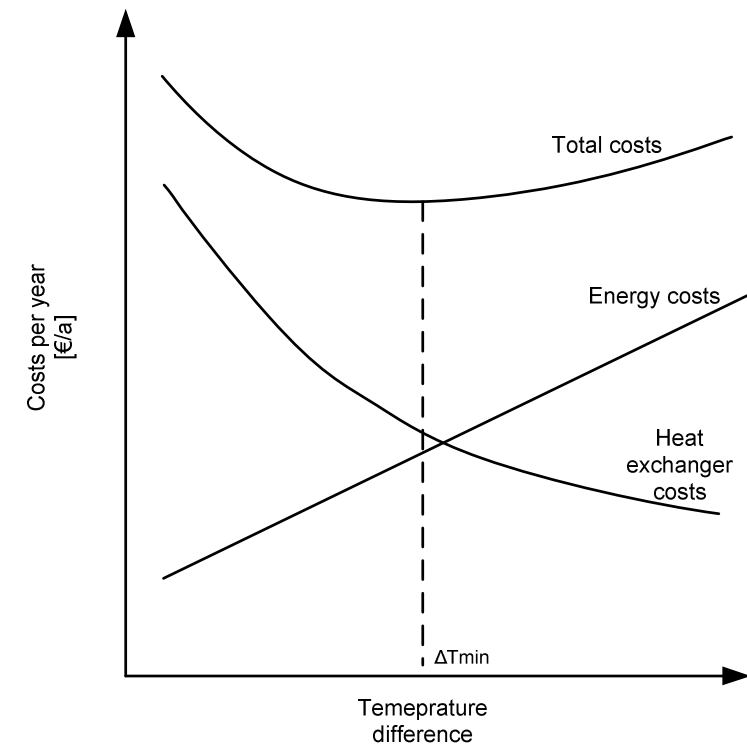


$$H[kW] = m_{hs} * c_{p_{hs}} * (T_{supply_{hs}} - T_{target_{hs}}) = m_{cs} * c_{p_{cs}} * (T_{target_{cs}} - T_{supply_{cs}})$$

Paso 7.3: Potencial de HR teórica

Optimización económica

- ✓ Los costes de inversión dependen de: **la magnitud del área de transferencia de calor**, la T , la presión, el material del intercambiador, las conexiones etc.
- ✓ El ahorro de energía depende de: **el coeficiente de transferencia de calor** (flujo características, parámetros de fluido, material, etc), **la diferencia de temperatura media logarítmica (LMTD)** entre los fluidos, **el área de transferencia de calor**.

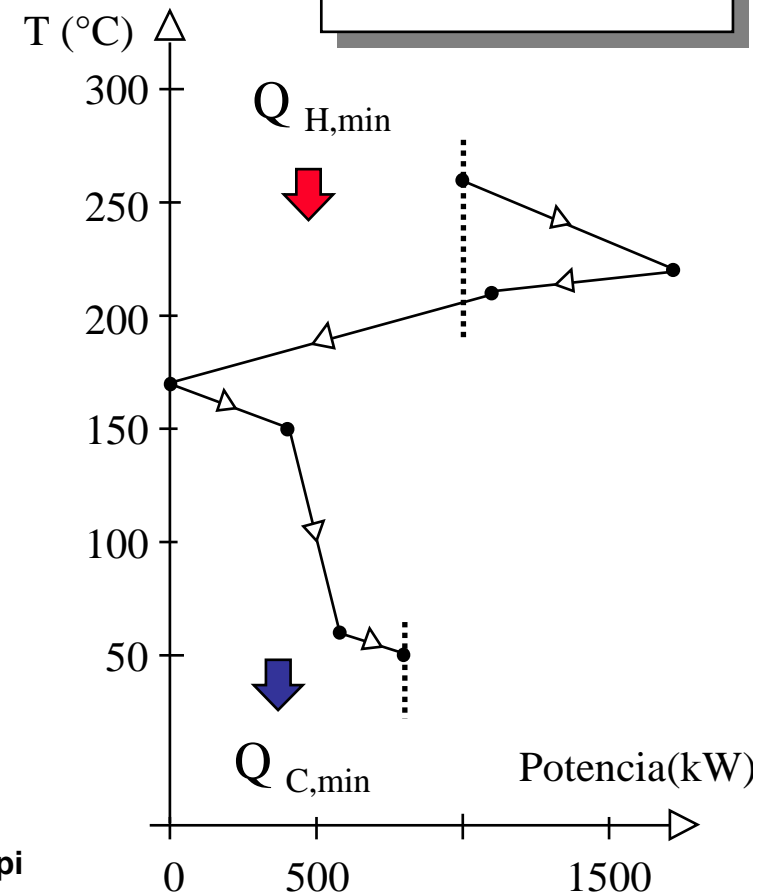
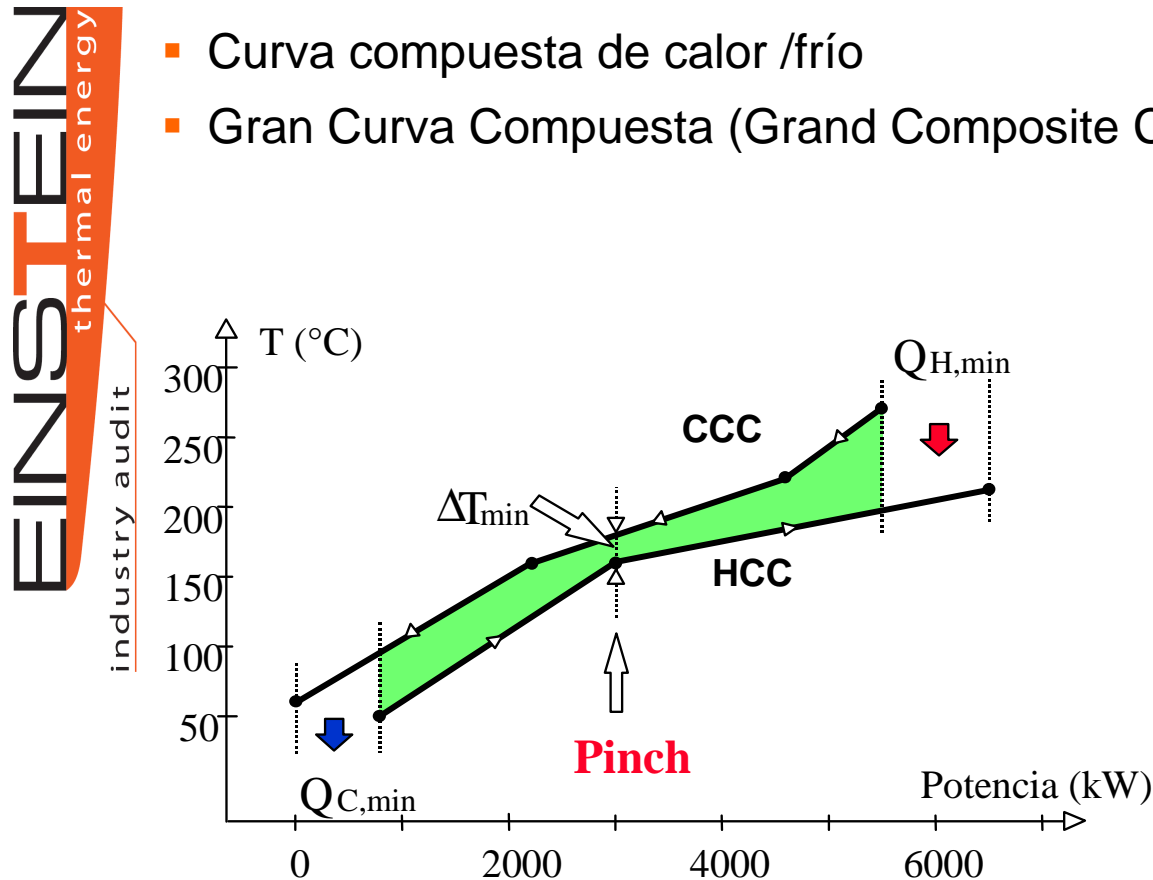


Paso 7.3: Potencial de HR teórica

✓ Análisis Pinch

- Curva compuesta de calor /frío
- Gran Curva Compuesta (Grand Composite Curve)

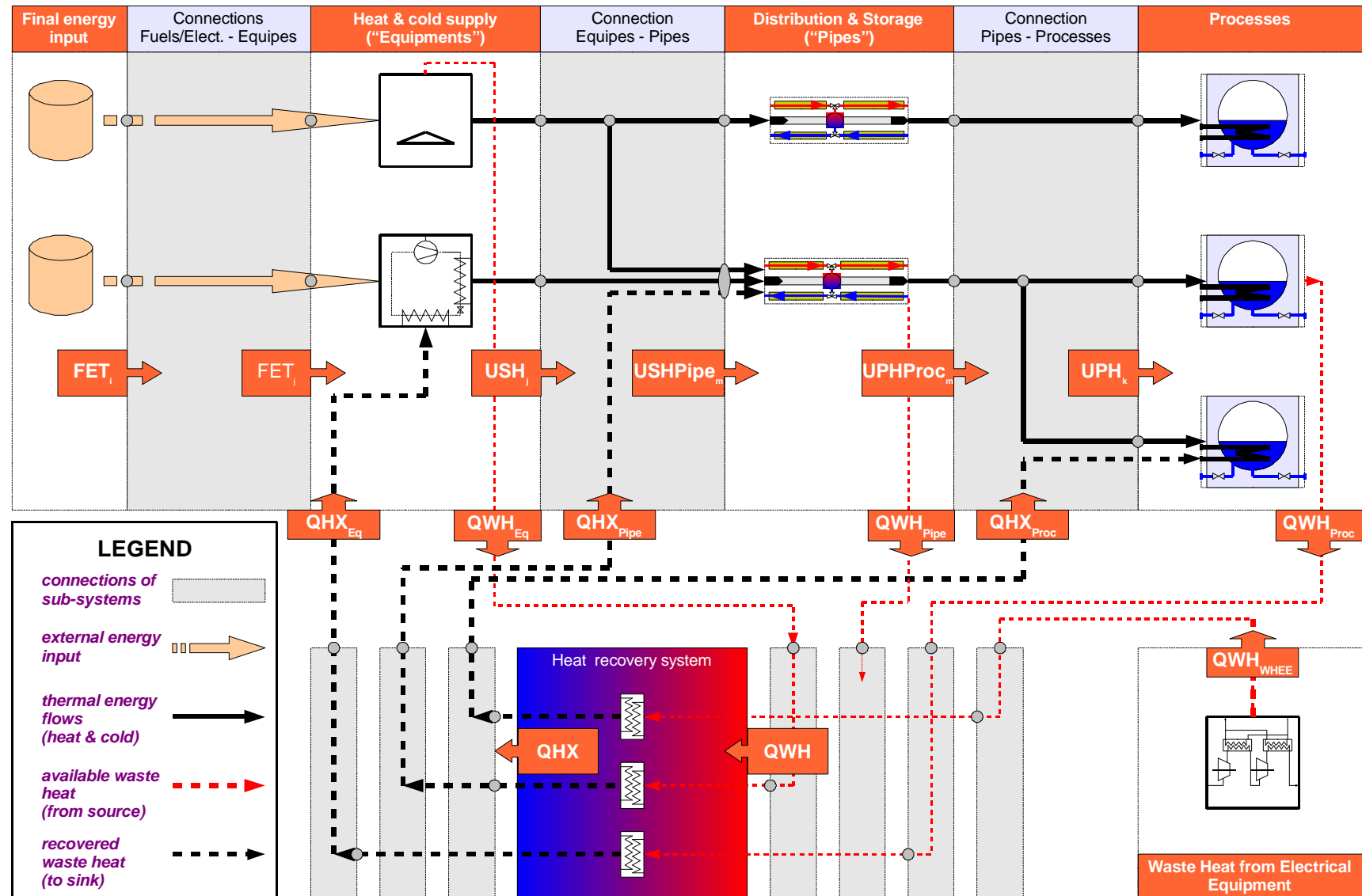
ΔT_{\min}	= 20 K
$Q_{H,\min}$	= 1000 kW
$Q_{C,\min}$	= 800 kW
T_{pinch}	= 180/160°C



Fuente: T. Gundersen. IEA. Process Integration, www.tev.ntnu.no/iea/pi

Paso 7.3: Potencial de HR teórica

EINSTEIN thermal energy industry audit



Paso 7.3: Potencial de HR teórica

Las siguientes corrientes de entalpía serán utilizadas en el análisis de pliegue (análisis pinch) (lista no exhaustiva):

✓ Procesos

- Corriente de puesta en marcha(calentamiento en la puesta en marcha)
- Corrientes de circulación (calentamiento de medios de flujo de entrada)
- Corriente de mantenimiento (pérdidas y evaporación)
- Corrientes de calor residual
 - Productos calientes
 - Agua caliente residual
 - Vapores
 - Etc.

Paso 7.3: Potencial de HR teórica

Las siguientes corrientes de entalpía serán utilizadas en el análisis de pliegue (análisis pinch) (lista no exhaustiva):

✓ Líneas de distribución

- Vapores condensados
- Corrientes residuales de tuberías (aire caliente, agua residual caliente,...)
- Alimentación de la caldera-precalentamiento del agua
- Etc.

✓ Equipos

- Calderas:
 - Gas de escape
 - Aire de combustión
- Calor residual de los enfriadores
- Demanda de calor de las bombas de calor
- Etc.

✓ Equipo eléctrico

- Calor residual de compresores eléctricos

Paso 7.3: Potencial de HR teórica

✓ Desde suministro de **energía y procesos a flujos**

✓ **Proceso = Lavado**

- volumen de cuba: 5 m³
- temperatura agua fría= 10° C
- Temperatura de proceso = 60° C
- Entrada de agua fría = 10 m³/día
- Entrada de calor durante operación (calentamiento agua entrada y pérdidas de calor, evaporación negligible) = 90 kW
- Horario funcionamiento:
 - Encendido 6:00 h a 6:30 h
 - Operación continua de 6:30 h a 16:00 h
- temperatura agua residual= 50° C
- temperatura a la que el agua residual puede ser enfriada: 5° C.

Paso 7.3: Potencial de HR teórica

✓ De suministro de energía y procesos a **flujos**

✓ proceso = Lavado

➔ **Flujos de entalpía**

Nombre	Temp. Incios	Temp. final	Flujo masa	Potencia requerida / Calor residual	Horario
	° C	° C	kg/h	kW	
Encendido	10	60	10.000	582	6:00 – 6.30
Calentamiento continuo de agua entrada	10	60	1.053	61	6:30 to 16:00
Entrada calor adicional durante operación por pérdidas térmicas	60	60	-	29	6:30 to 16:00
Agua residual	50	5	1.053	55	6:30 to 16:00
Agua residual después apagado de máquinas	50	5	10.000	524	16:00 – 16:30

Paso 7.4: Prediseño de la red de intercambiadores de calor

✓ **META:**

- ✓ Integración de calor con una visión holística
- ✓ Diseño de una red de intercambiadores de calor

✓ **Metodología**

- ✓ Propuesta de diseño de la red de intercambiadores de calor basada en el análisis Pinch
- ✓ Simulación de intercambiador de calor

✓ **Resultados:**

- ✓ Red de Intercambiadores de Calor
- ✓ Curvas de demanda de energía y curvas de energía disponible (kWh/a, niveles temperatura)

paso 7.4: Prediseño de la red de intercambiadores de calor

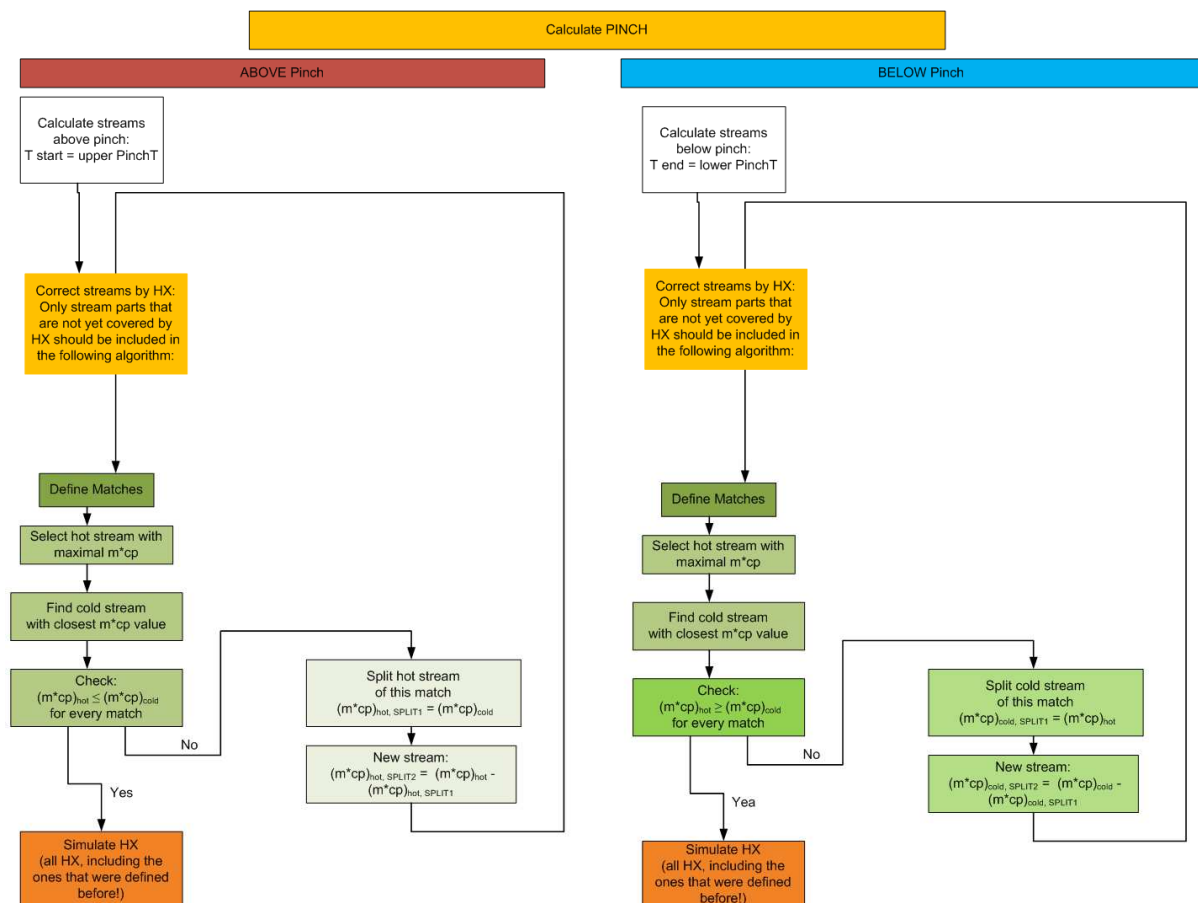
Criterios generales para una red HEX:

- ✓ Uso del calor a cierto nivel de temperatura para el calentamiento de otros flujos a temperatura similar
- ✓ Potencia de intercambio de calor
- ✓ Energía total transferible a través del intercambiador
- ✓ Integración de calor en el mismo proceso debe ser prioritario – uso directo del calor residual
- ✓ Uso del calor que debe ser enfriado por un sistema de refrigeración para el calentamiento de procesos incrementa el ahorro de energía del intercambio de calor, ya que el suministro de energía externo de la fuente de calor y la bajada de calor puede ser ahorradas.
- ✓ Distancia entre fuente de calor (flujo caliente) y la bajada de calor (flujo frío)
- ✓ Aspectos prácticos como factores de fallo, necesidad de intercambio indirecto de calor a través de un medio de transferencia, temperatura y presión, etc.
- ✓ Costes de inversión y ahorro de costes de energía

Paso 7.4: Prediseño de la red de intercambiadores de calor

EINSTEIN's HX selection algorithm:

Basado en Algoritmo de Pinch (Kemp et al., 2007):



Paso 7.4: Prediseño de la red de intercambiadores de calor

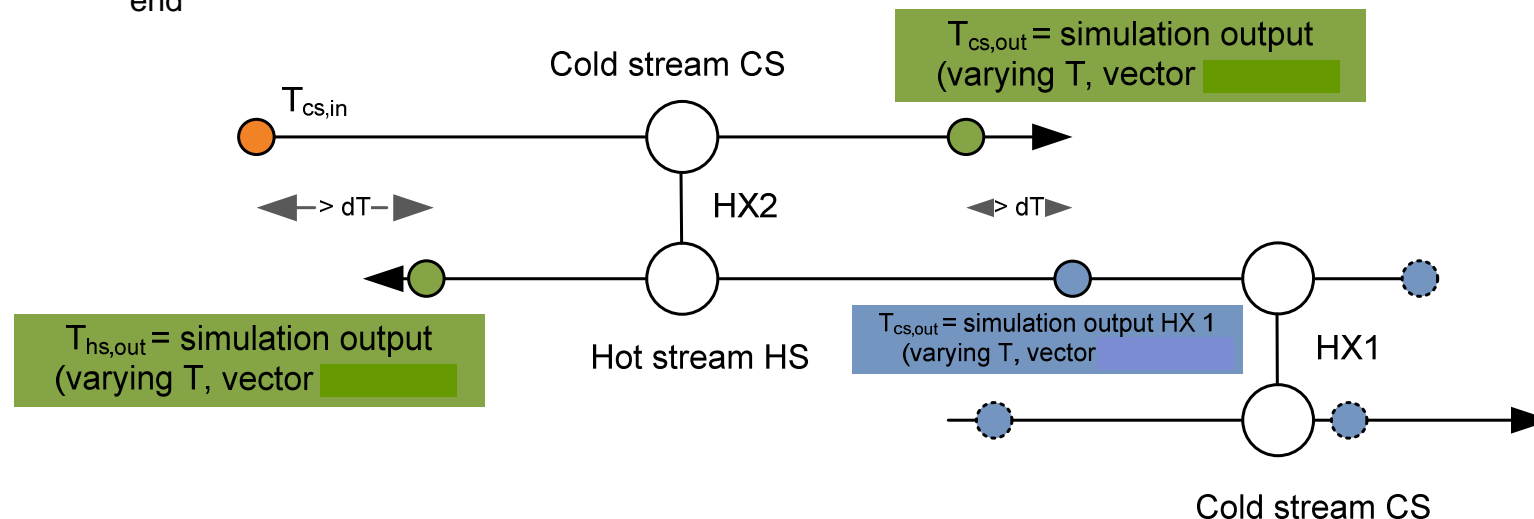
Simulación HX en EINSTEIN:

- ✓ Valores iniciales de disipadores y fuentes:

- ✓ Q_t
- ✓ T_{start}
- ✓ T_{end}

- ✓ Resultados de la simulación

- ✓ Q_{HX_t}
- ✓ T_{inlet_t}
- ✓ T_{outlet_t}



Paso 7.4: Prediseño de la red de intercambiadores de calor

HX Simulation in EINSTEIN:

✓ Ecuaciones básicas:

$$Q = m_{cs} * cp_{cs} * \Delta T_{cs} = m_{hs} * cp_{hs} * \Delta T_{hs}$$

$$\frac{\Delta T_{cs}}{\Delta T_{hs}} = \frac{m_{hs} * cp_{hs}}{m_{cs} * cp_{cs}}$$

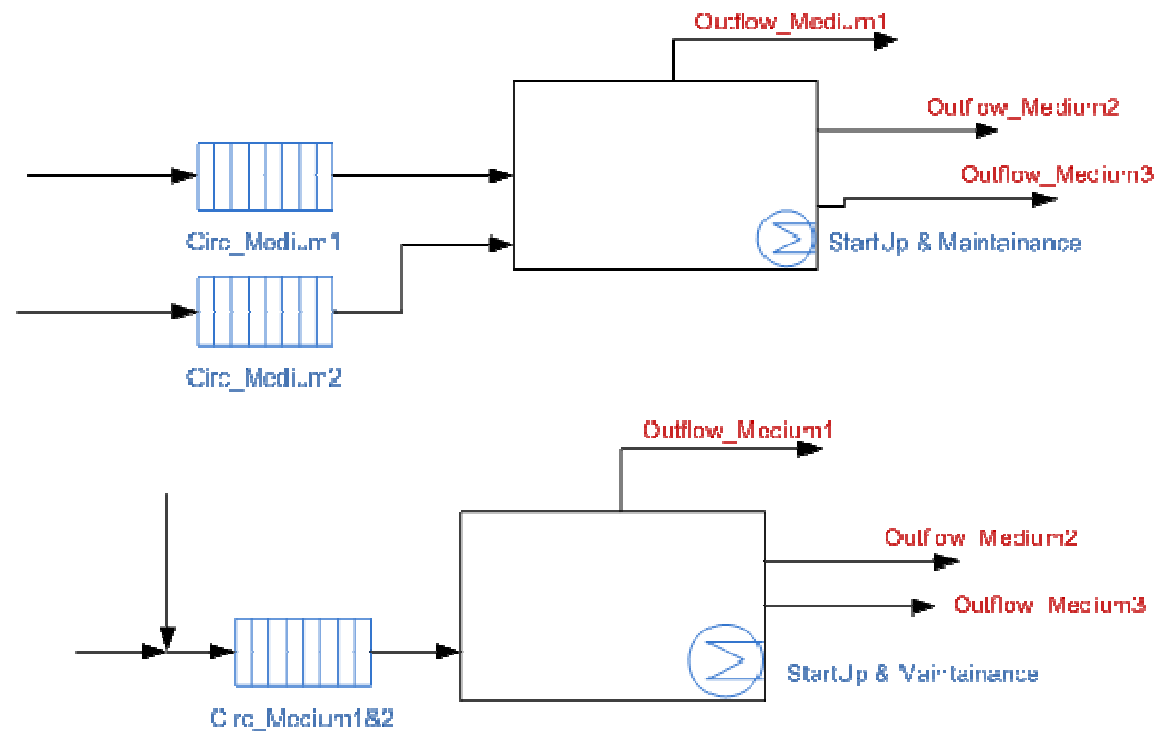
$$Q = U * A * \Delta T_{\log, hx}$$

$$\Delta T_{\log, hx} = \frac{(T_{hs, in} - T_{cs, out}) - (T_{hs, out} - T_{cs, in})}{\ln\left(\frac{T_{hs, in} - T_{cs, out}}{T_{hs, out} - T_{cs, in}}\right)}$$

Paso 7.4: Prediseño de la red de intercambiadores de calor

Simulación HX en EINSTEIN:

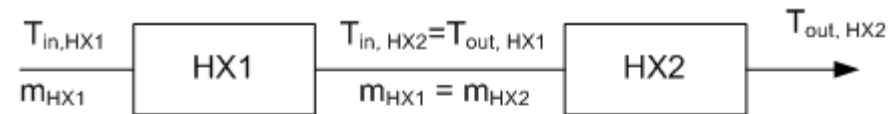
- ✓ Se pueden combinar varias fuentes y disipadores en un intercambiador de calor:



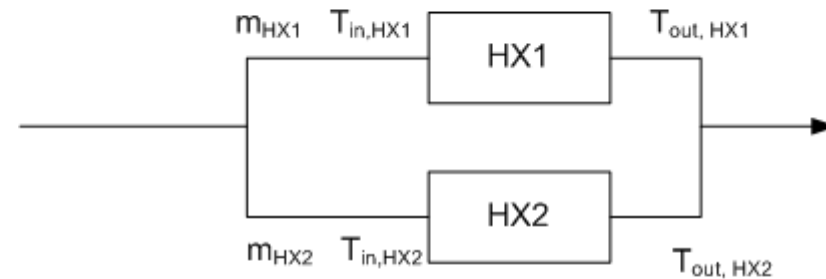
Paso 7.4: Prediseño de la red de intercambiadores de calor

Interconexiones HX posibles

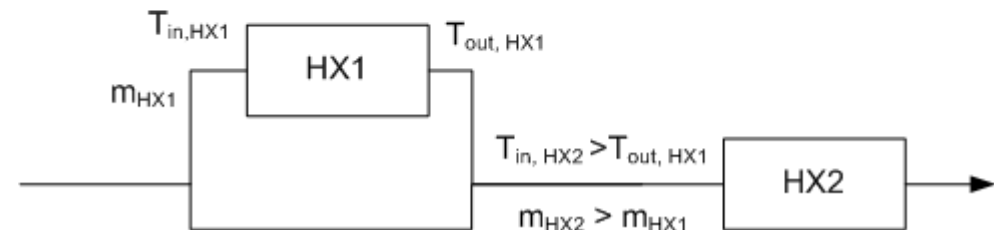
✓ Interconexion
en serie



✓ Interconexión
en paralelo

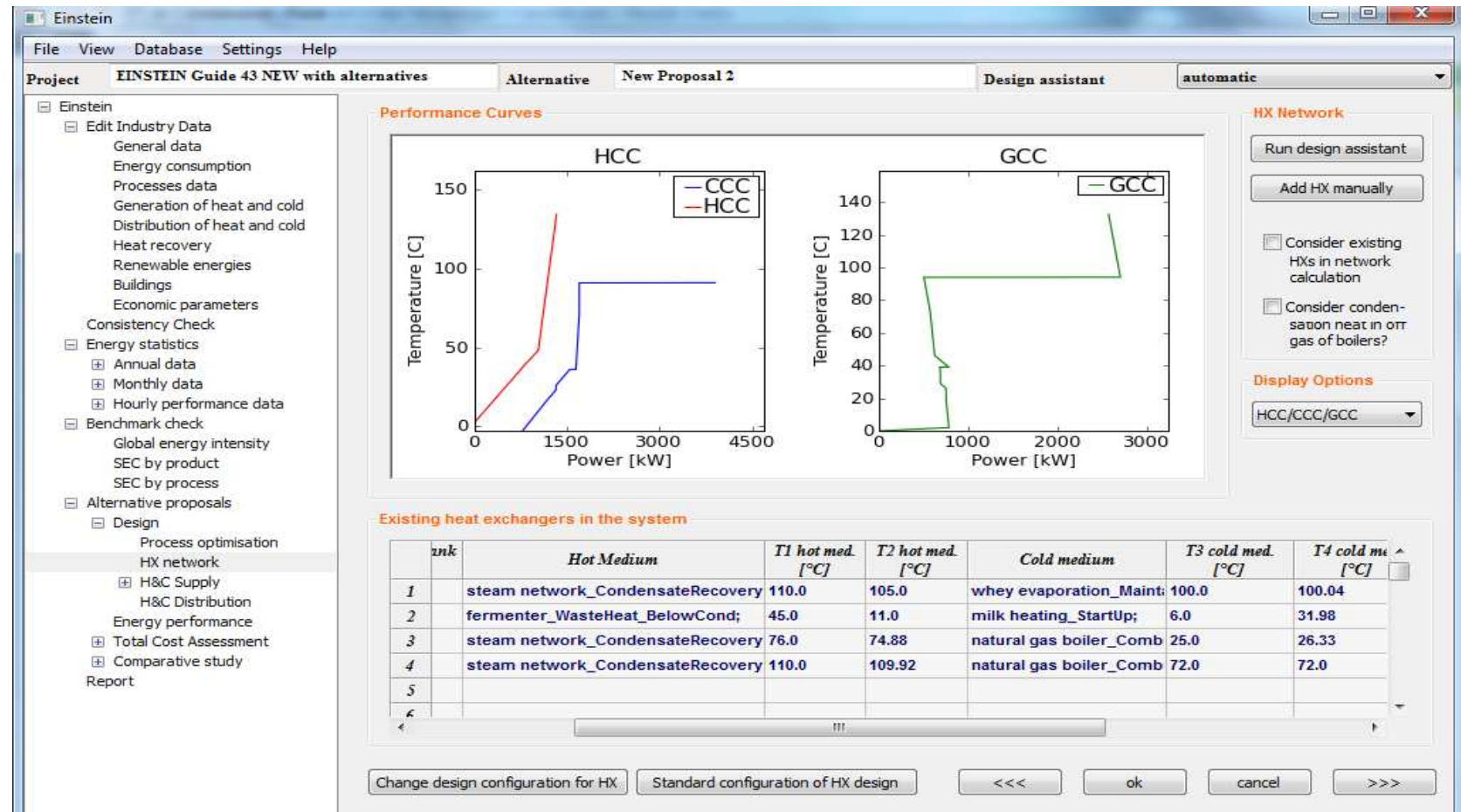


✓ Interconexion en serie
con bypass



Paso 7.4: Prediseño de red de intercambiadores de calor

EINSTEIN thermal energy
industry audit



Curva compuesta de calor y frío, curva compuesta general y red de intercambiadores de calor propuesta

Paso 7.4: Prediseño de la red de intercambiadores de calor

Valores estándar para ΔT_{min} y el coeficiente de transferencia de calor α :

Estado	ΔT_{min} [° C]	Coeficiente α [W/m²K]
Líquido	5	5.000
Gaseoso	10	100
Condensación	2,5	10.000

Tipos de intercambiador de calor y coeficientes globales de transferencia:

Heat exchange	Heat exchanger type chosen in EINSTEIN	Overall Heat transfer coefficient (material = stainless steel) α [W/m²K]	Average values given in VDI Heat Compendia [W/m²K]
Liquid - Liquid	Plate heat exchanger	2.143	1000 – 4000
Gaseous – liquid	Shell&tube	97	15-70
Condensation – liquid	Shell&tube	2724	500 – 4000
Gaseous – gaseous	Shell&tube	50	5-35
Condensation – gaseous	Shell&tube	99	20 - 60