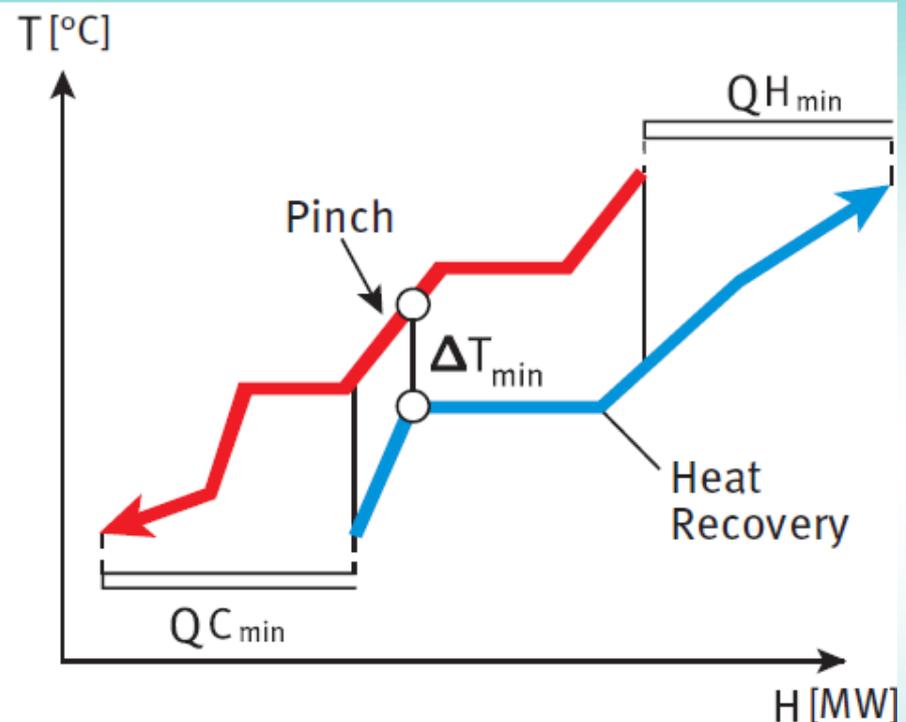
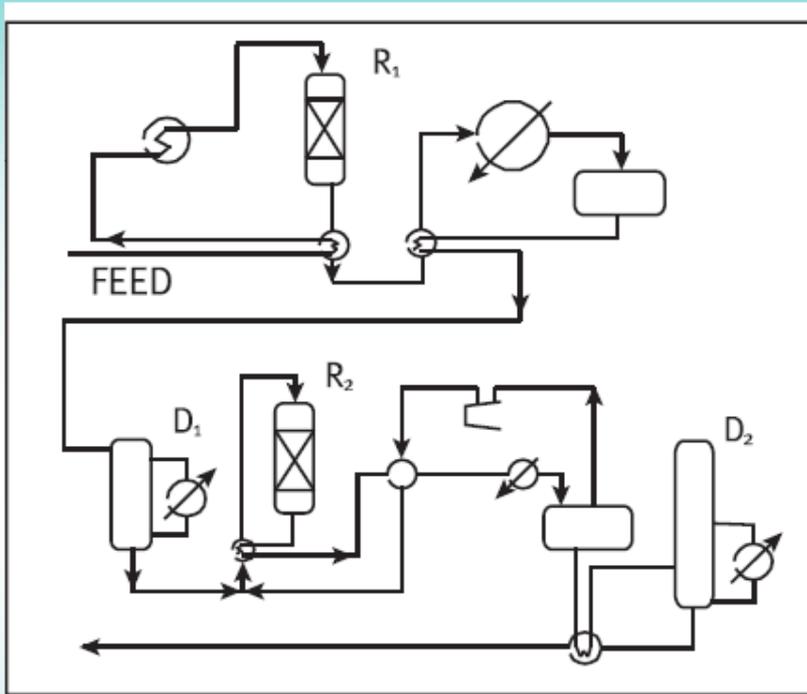
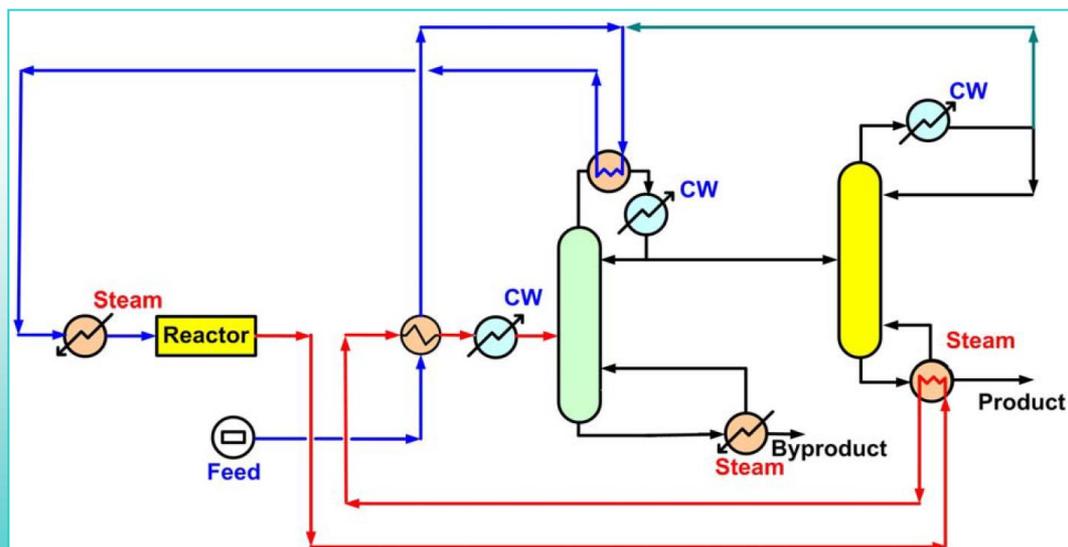
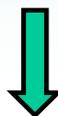
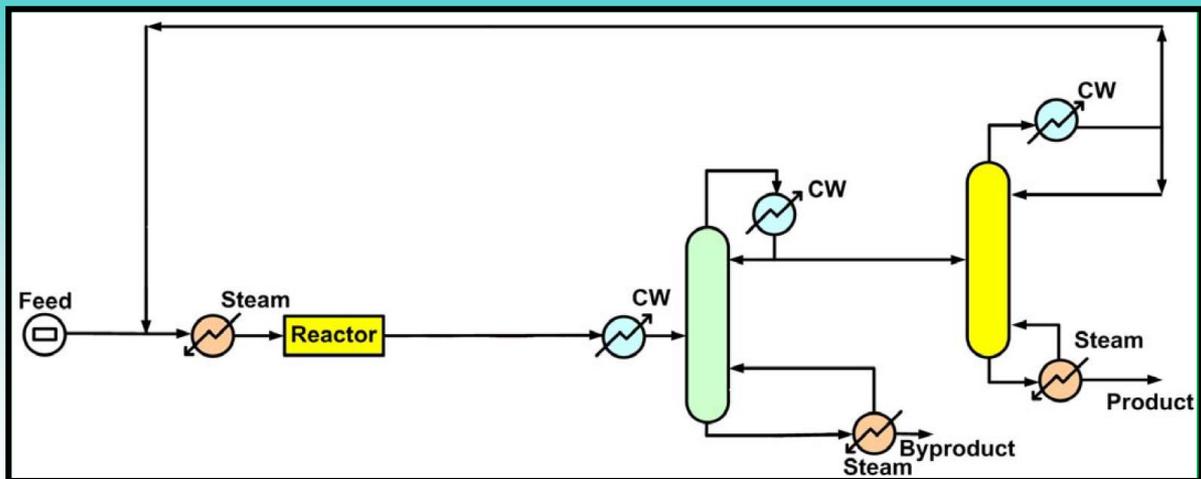


Integración energética

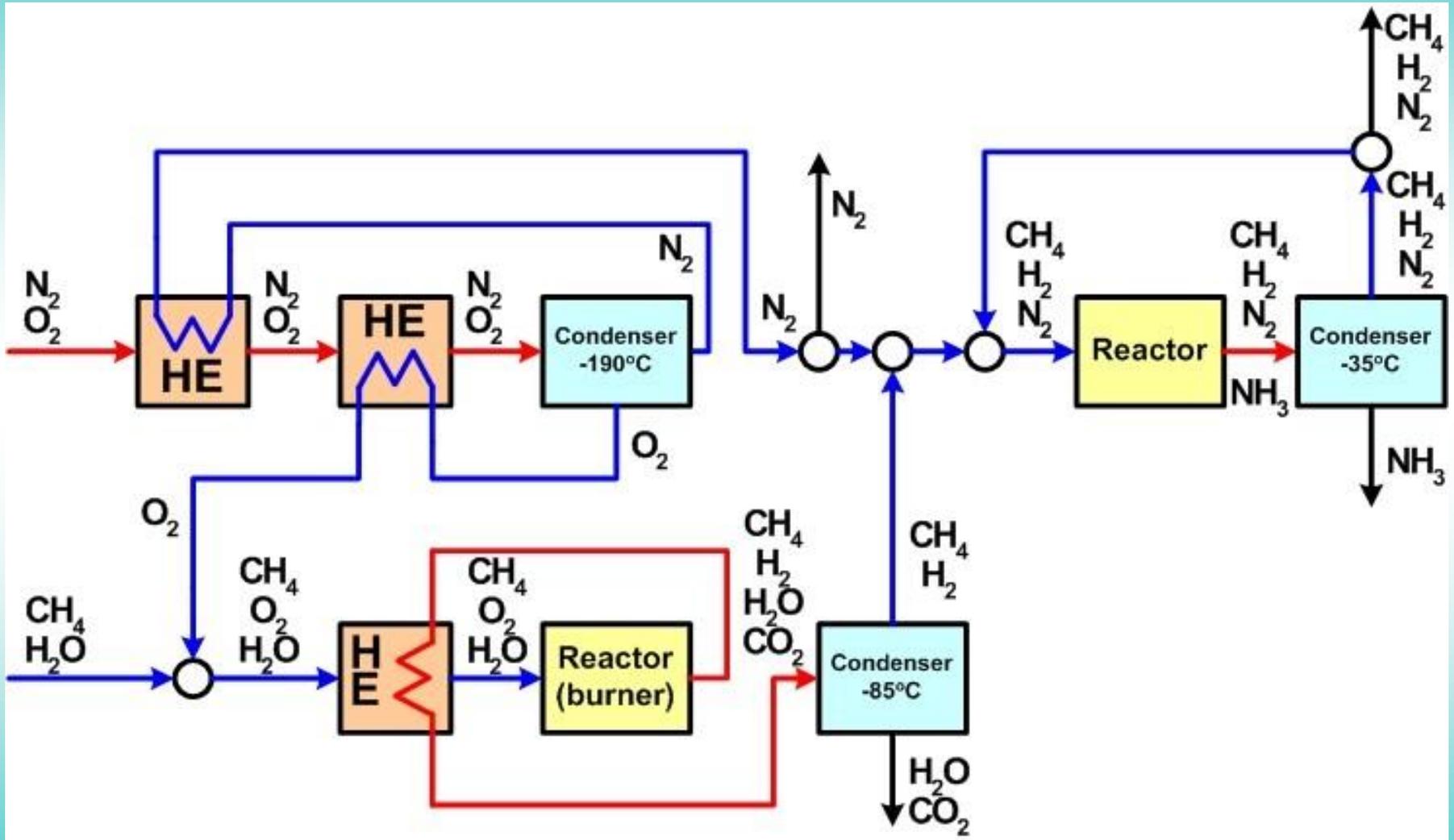


“La **Integración de Procesos** es más que solo tecnología Pinch y Redes de Intercambio de Calor. Hoy en día, tiene un alcance mucho más amplio y toca cada área del diseño de procesos. Las industrias cambiantes están obteniendo más dinero de sus materias primas y activos de capital al hacerse más limpias y **más sostenibles**”

Integración energética



Síntesis de Amoníaco



Introducción

La tecnología *Pinch* permite realizar el diseño de sistema de intercambiador de calor (y masa) óptimo.

Fue desarrollado por el profesor Bodo Linnhoff y sus colegas en la Universidad de Leeds, ICI, EHT Zurich y la Universidad de Manchester.

La tecnología *Pinch* permite obtener beneficios cuando se aplica a industrias de proceso en los que la energía representa una proporción significativa del costo.

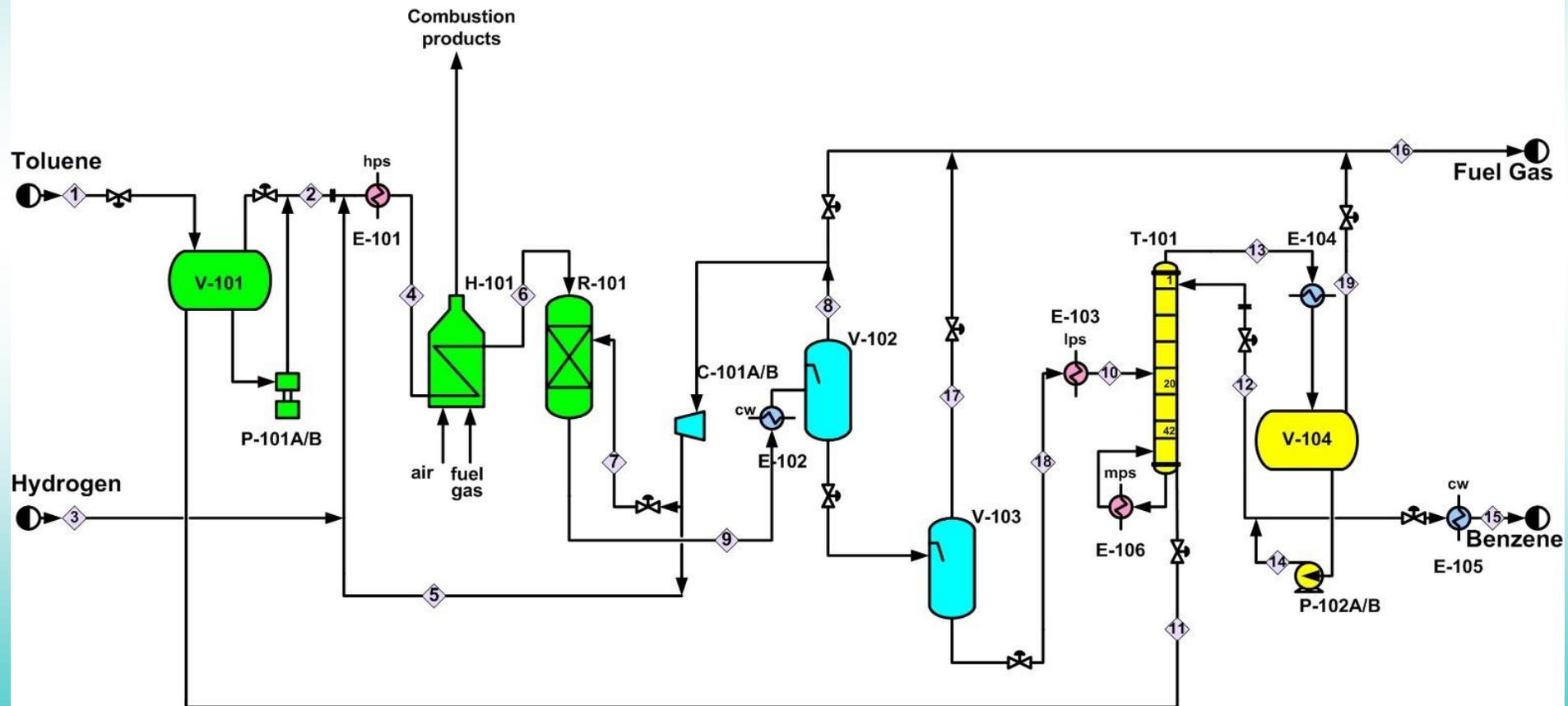
Ejemplos de tales industrias son:

- Extracción de minerales.
- Fabricación de Metal.
- Procesos químico.
- Fabricación de alimentos y bebidas.
- Petroquímica y otras industrias orgánicos.

Producción de benceno



V-101	P-101A/B	E-101	H-101	R-101	C-101A/B	E-102	V-102	V-103	E-103	E-106	T-101	E-104	V-104	P-102A/B	E-105
Toluene Feed Drum	Toluene Feed Pumps	Feed Preheater	Heater	Reactor	Recycle Gas Compressor	Reactor Effluent Cooler	High Pres. Phase Sep.	Low Pres. Phase Sep.	Feed Preheater	Benzene Reboiler	Benzene Column	Benzene Condenser	Reflux Drum	Reflux Pump	Product Cooler

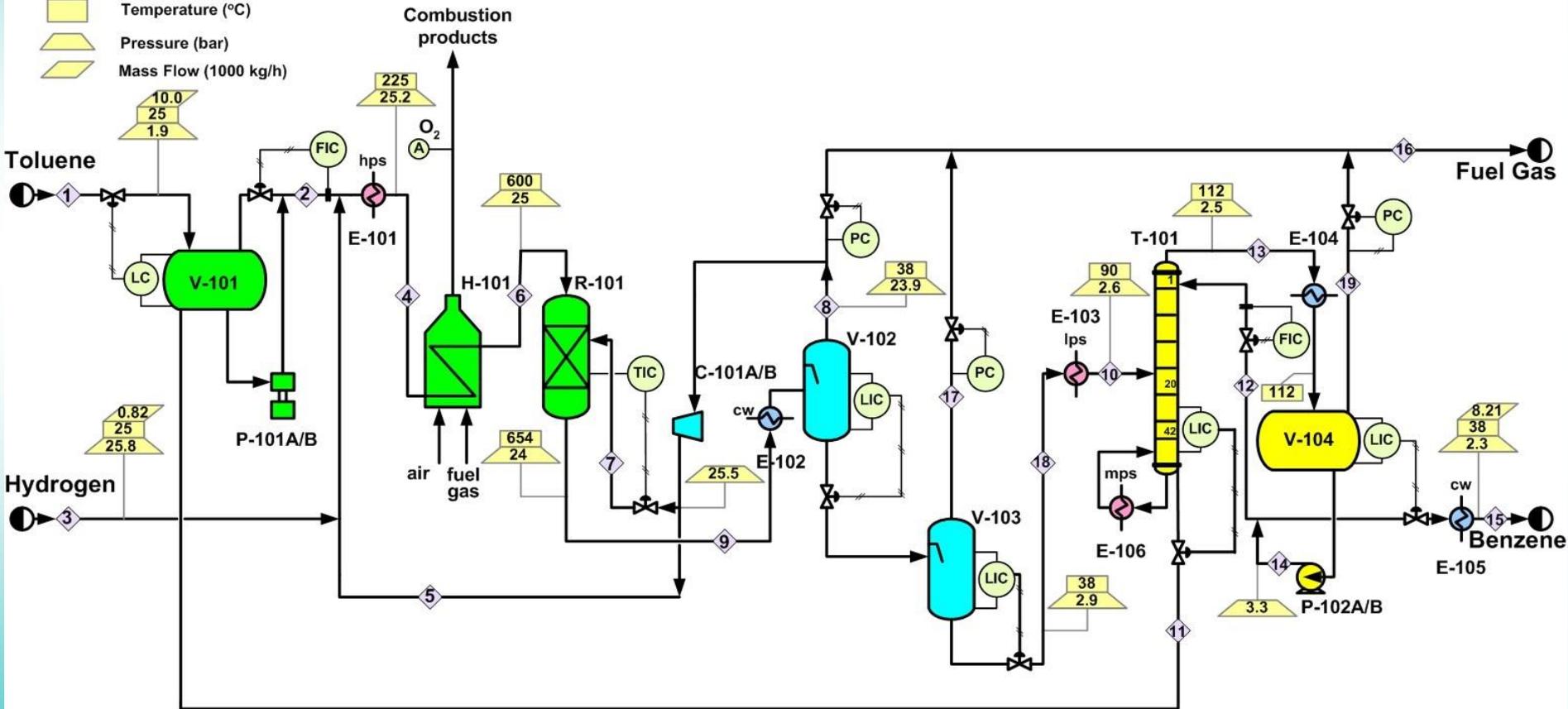


Producción de benceno

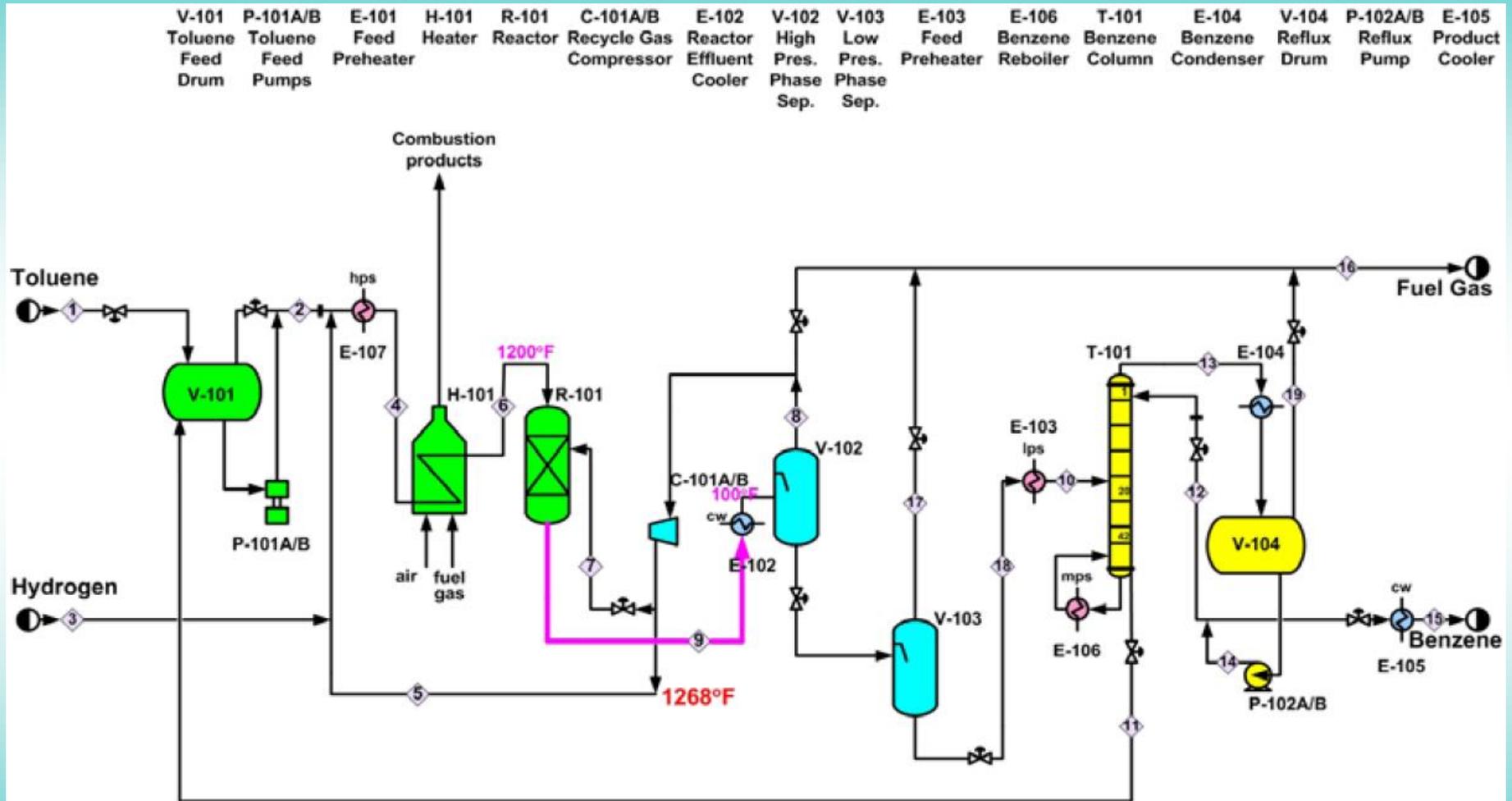


V-101	P-101A/B	E-101	H-101	R-101	C-101A/B	E-102	V-102	V-103	E-103	E-106	T-101	E-104	V-104	P-102A/B	E-105
Toluene Feed Drum	Toluene Feed Pumps	Feed Preheater	Heater	Reactor	Recycle Gas Compressor	Reactor Effluent Cooler	High Phase Sep.	Low Phase Sep.	Feed Preheater	Benzene Reboiler	Benzene Column	Benzene Condenser	Reflux Drum	Reflux Pump	Product Cooler

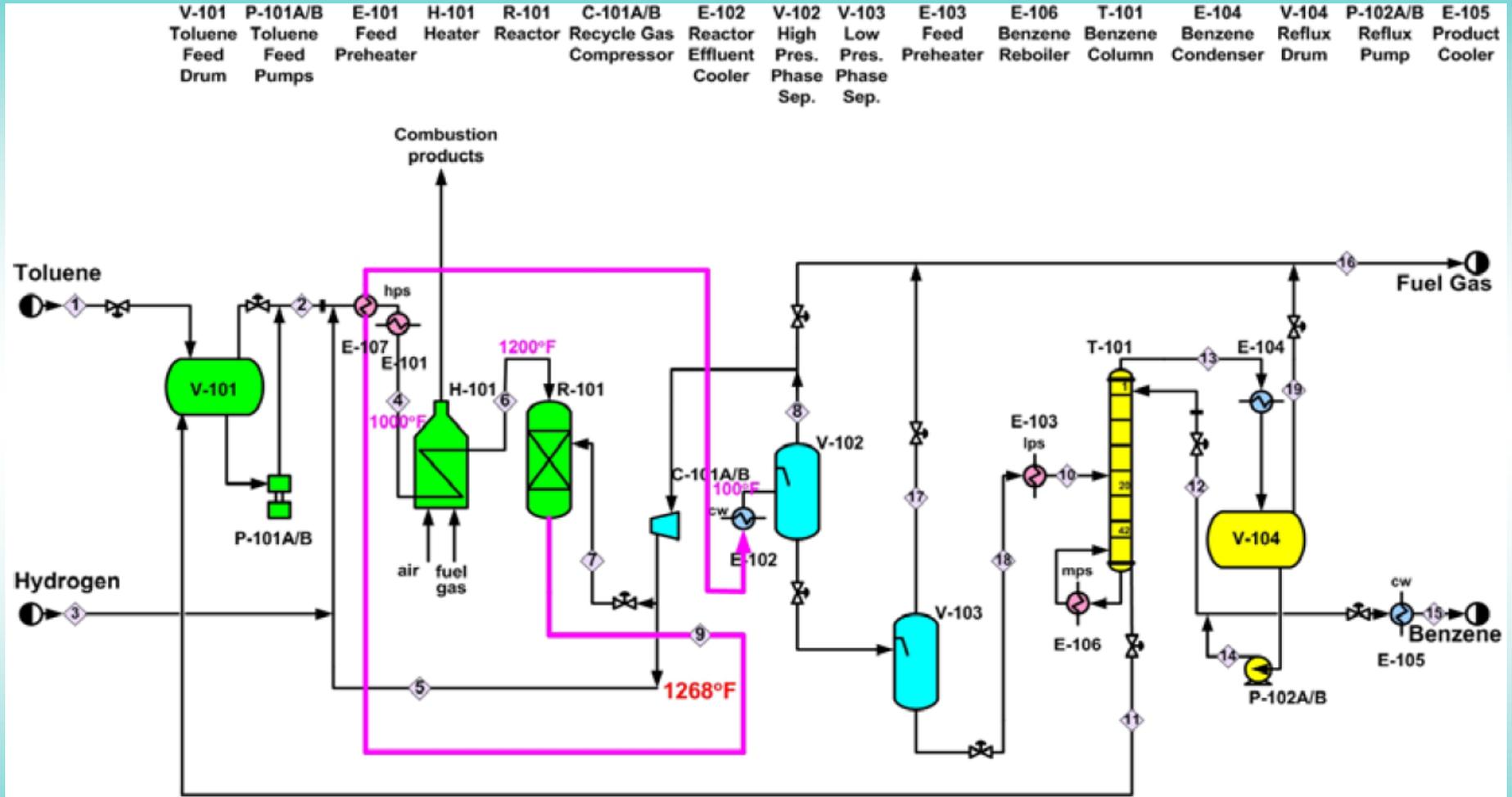
- Temperature (°C)
- Pressure (bar)
- Mass Flow (1000 kg/h)



Producción de benceno

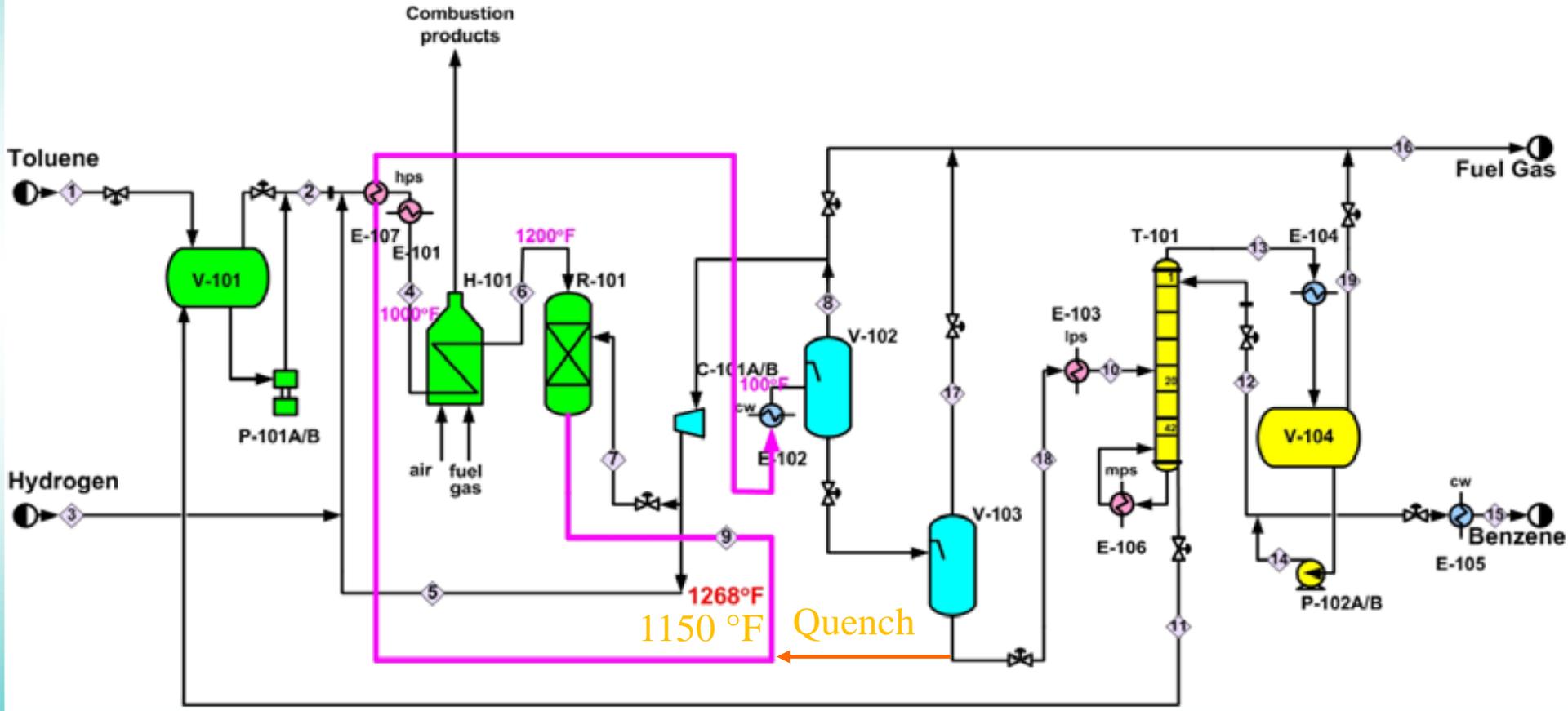


Producción de benceno

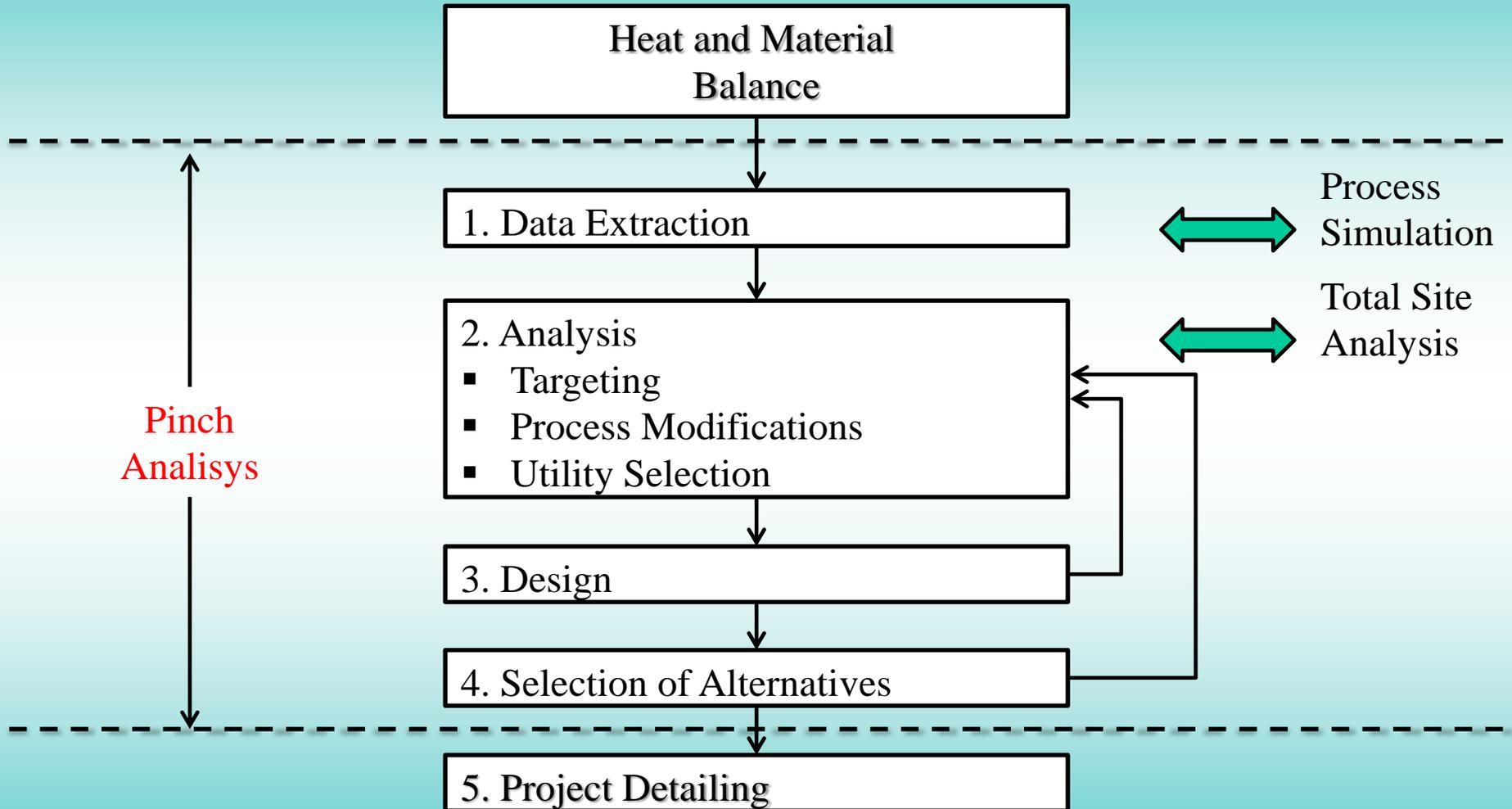


Producción de benceno

V-101	P-101A/B	E-101	H-101	R-101	C-101A/B	E-102	V-102	V-103	E-103	E-106	T-101	E-104	V-104	P-102A/B	E-105
Toluene Feed Drum	Toluene Feed Pumps	Feed Preheater	Heater	Reactor	Recycle Gas Compressor	Reactor Effluent Cooler	High Pres. Phase Sep.	Low Pres. Phase Sep.	Feed Preheater	Benzene Reboiler	Benzene Column	Benzene Condenser	Reflux Drum	Reflux Pump	Product Cooler



Pasos en pinch technology



Etapas de incorporación

Retrofit (actualización, modernización, adaptación)

- ❖ La tecnología **Pinch** permite optimizar la recuperación de calor residual en un sistema existente de intercambiadores de calor.
- ❖ Recuperación de inversión se calcula en base al costo de capital de la nueva instalación de intercambiadores de calor y se espera un ahorro de costos.

Etapa de diseño

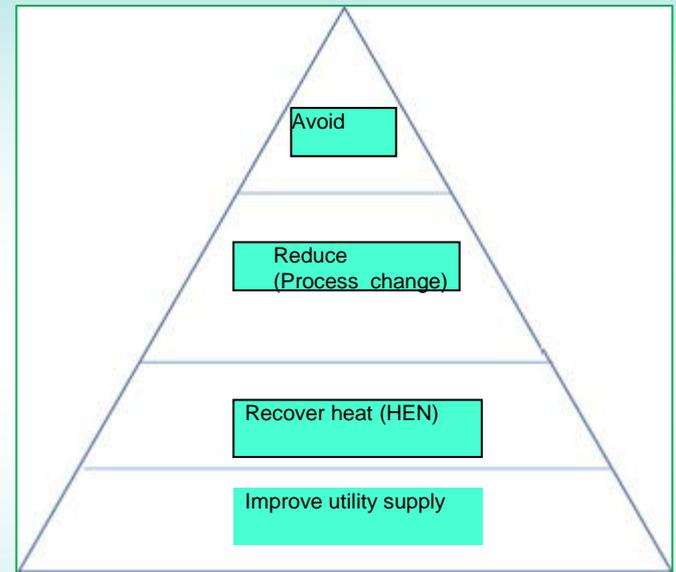
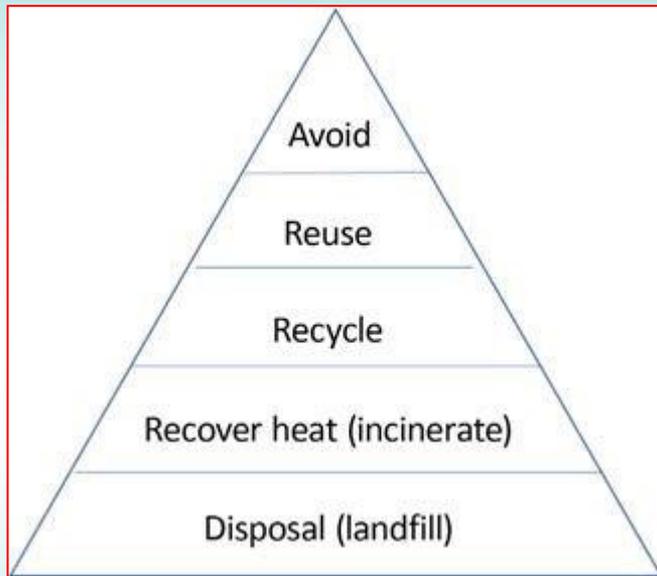
- Pinch** puede usarse en la etapa de diseño para reducir el costo de capital y operación. Las emisiones pueden ser minimizadas y el rendimiento maximizado
- Pinch** da una estrategia de recuperación de energía térmica, así como el requisito mínimo para el número de intercambiadores de calor.
- Menos intercambiadores de calor requieren menor capital y el costo mantenimientos.
- Sin embargo, se requiere un menor número de intercambiadores de calor más grande (Q más alto).

Beneficios

- Tecnología Pinch revela todos los posibles ahorros y sus beneficios financieros correspondientes.
- Define el máximo ahorro posible.
- Se ve en el sitio en general.
- Revela el máximo potencial de la **cogeneración** (integración de calor y potencia).
- Metas de mínima calefacción y enfriamiento.
- Cuantifica posibilidades de recuperación de calor.
- El análisis incluye la unidad de proceso o de todo el sitio.
- Muestra qué hacer con el calor residual de baja calidad.
- Su aplicación práctica aporta beneficios reales.

El escenario actual de la crisis energética alrededor del mundo, el objetivo principal de cualquier diseñador de procesos es maximizar la recuperación de calor de proceso-a-proceso y minimizar el uso del requerimiento de servicios (energía).

Jerarquía reducción de energía y residuos



Objetivos

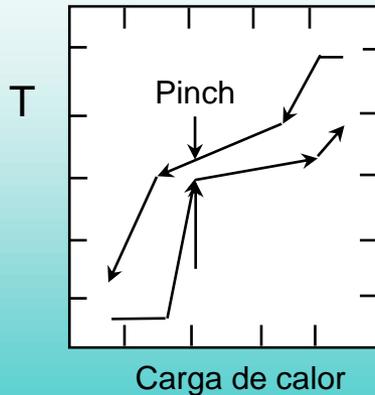
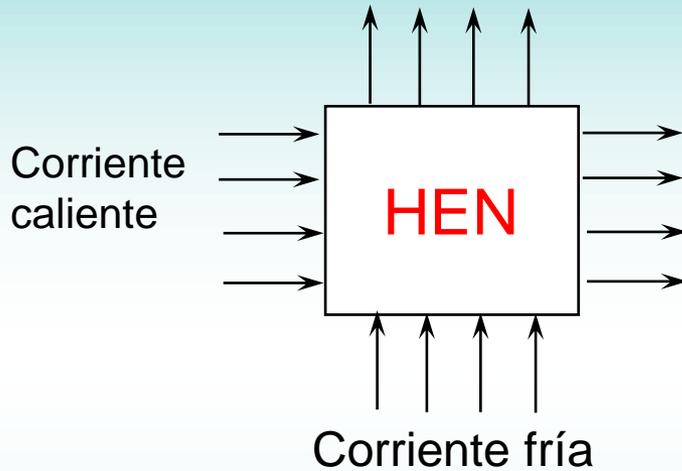
- Minimizar el **Costo Total Anual** por optimización del **Trade-off** entre la **Energía, Equipo e Insumo**.
- En este **Trade-off**: Minimizar **Energía**, mejorar el uso **insumos** y minimizar **Costo de Capital**
- Aumentar **Volumen de Producción** por *Debottlenecking*
- Reducir Problemas **Operativo**
- Incrementar la Controlabilidad y **Flexibilidad**
- Minimizar **Emisiones** indeseables (si es mayor a 100 kt CO₂ por año se requiere un estudio de opciones de fuentes de energía. (Principios de Ecuador).
- Aumentar la concientización para que las Industrias de Proceso y la Sociedad para un Desarrollo **Sostenible**

Introducción

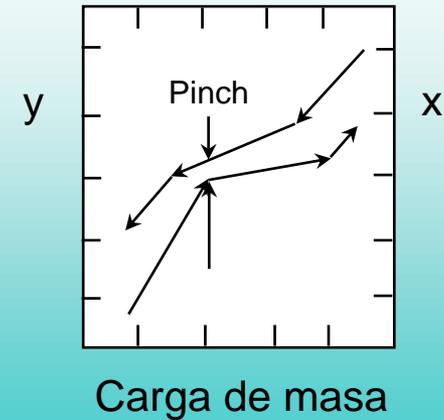
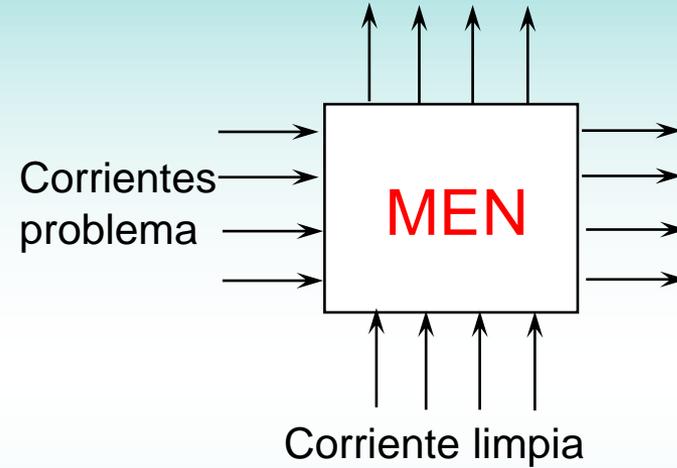
- El término *Pinch Technology* fue introducido por Linnhoff y Vredeveld para representar un conjunto de métodos que garantizan los niveles mínimos de energía en una red de intercambio de calor.
- El término *Pinch Analysis* es frecuentemente usado para representar la aplicación de las herramientas y algoritmos de la *Pinch Technology* para el estudio de procesos industriales. Es una metodología simple para el análisis de procesos químicos y el requerimiento de servicios con la ayuda de la 1° ley de la termodinámica (cálculo del cambio de entalpía) y la 2° ley de la termodinámica (dirección del flujo de calor).
- El principal objetivo de *Pinch Analysis* es lograr ahorros financieros por una mejor integración de calor en el proceso.

Tecnología Pinch (pinch technology)

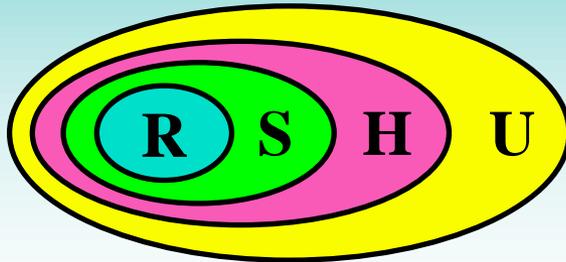
Integración de calor



Integración de masa

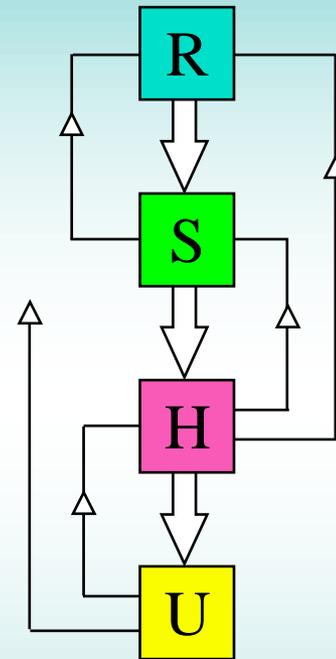


Diseño conceptual



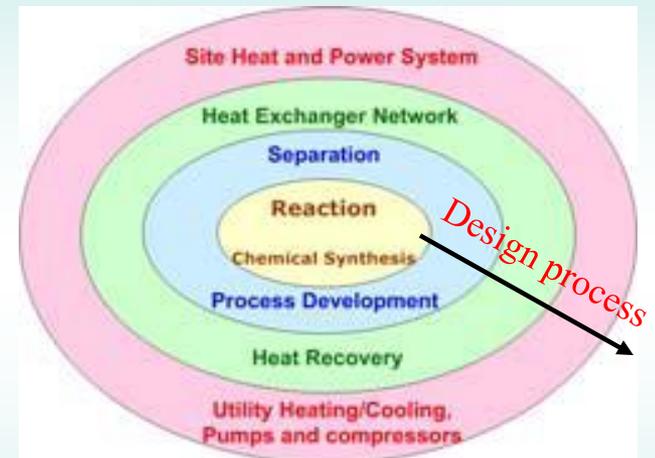
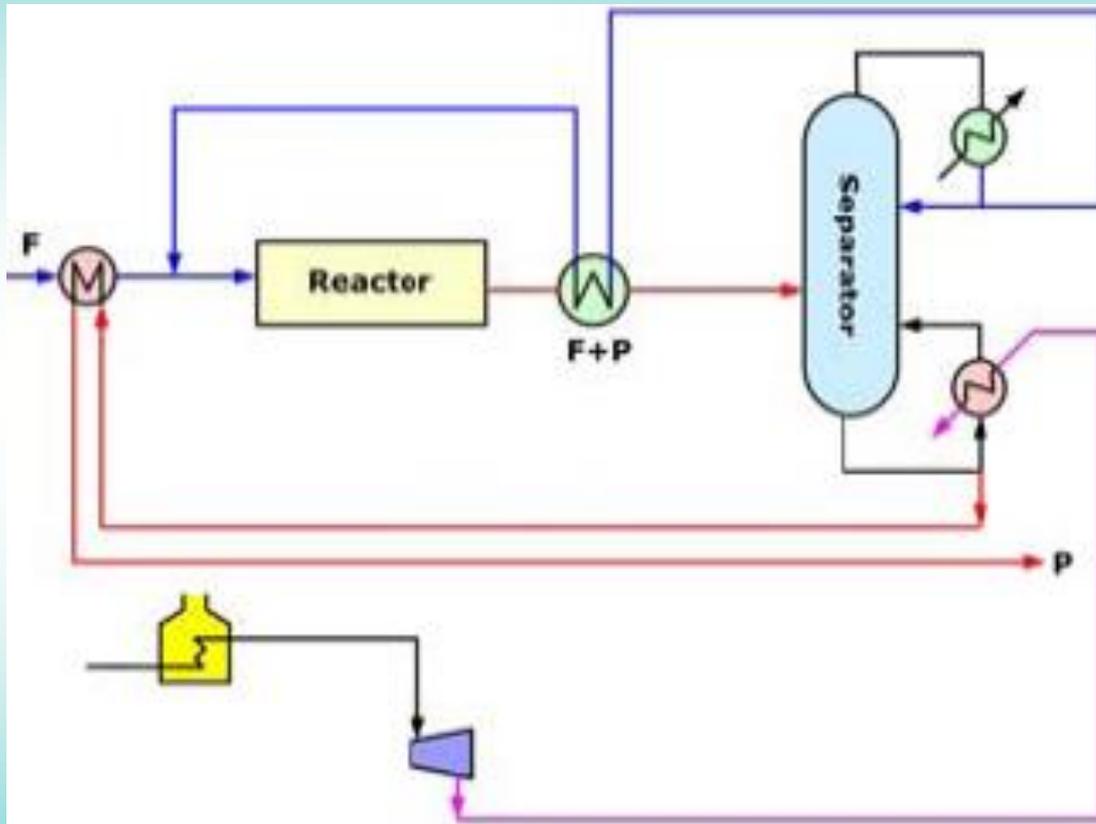
R = Reactor
S = Separación
H = Recuperación de calor
U = Servicios

Descomposición



Interacciones

Análisis Pinch



Enfoques de diseño

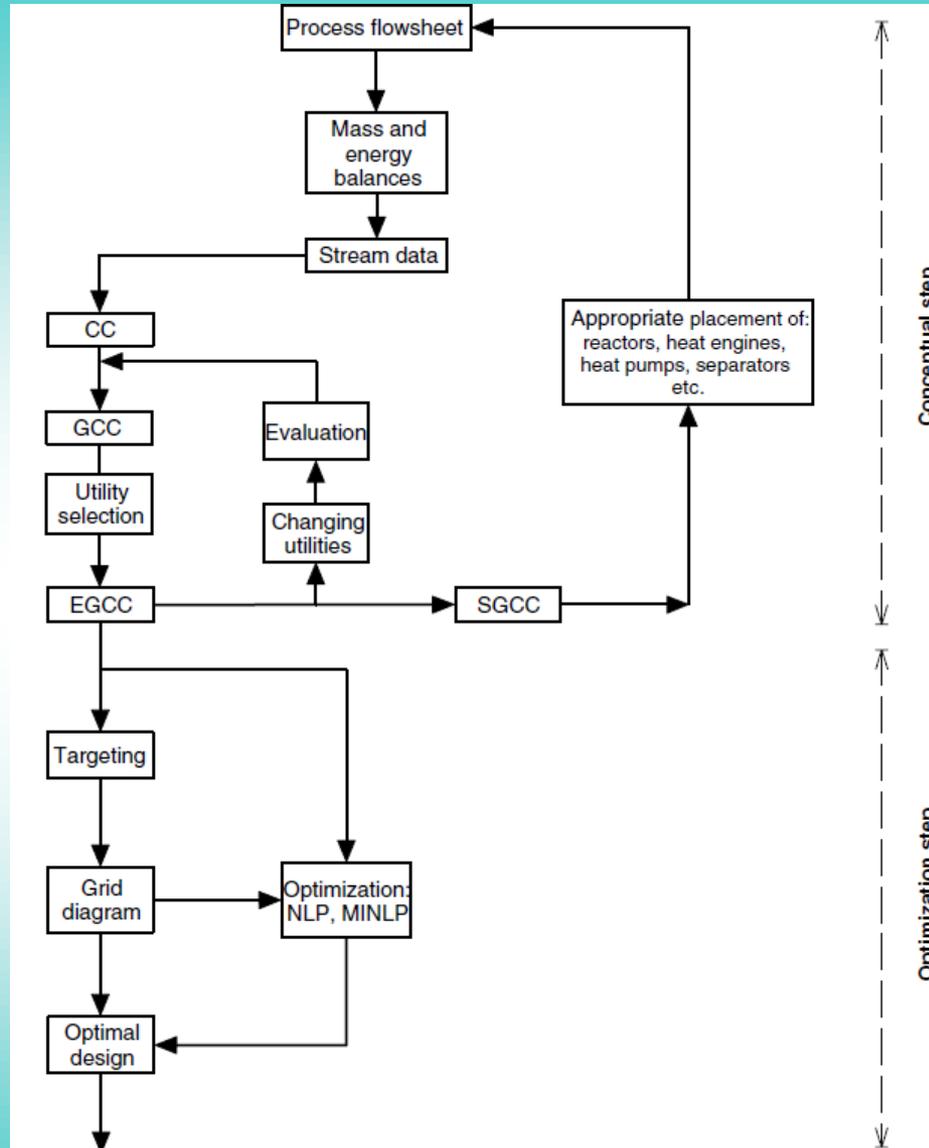
- Diseño tradicional



- Diseño *Pinch Technology*



Esquema conceptual



Procedimiento para el diseño de redes de Intercambio de calor

1. Determinar objetivos

- Metas de energía: Máxima recuperación de energía (MER).
- Metas de capital:
 - ✓ Mínimo número de unidades de transferencia de calor.
 - ✓ Mínima área total de transferencia de calor.

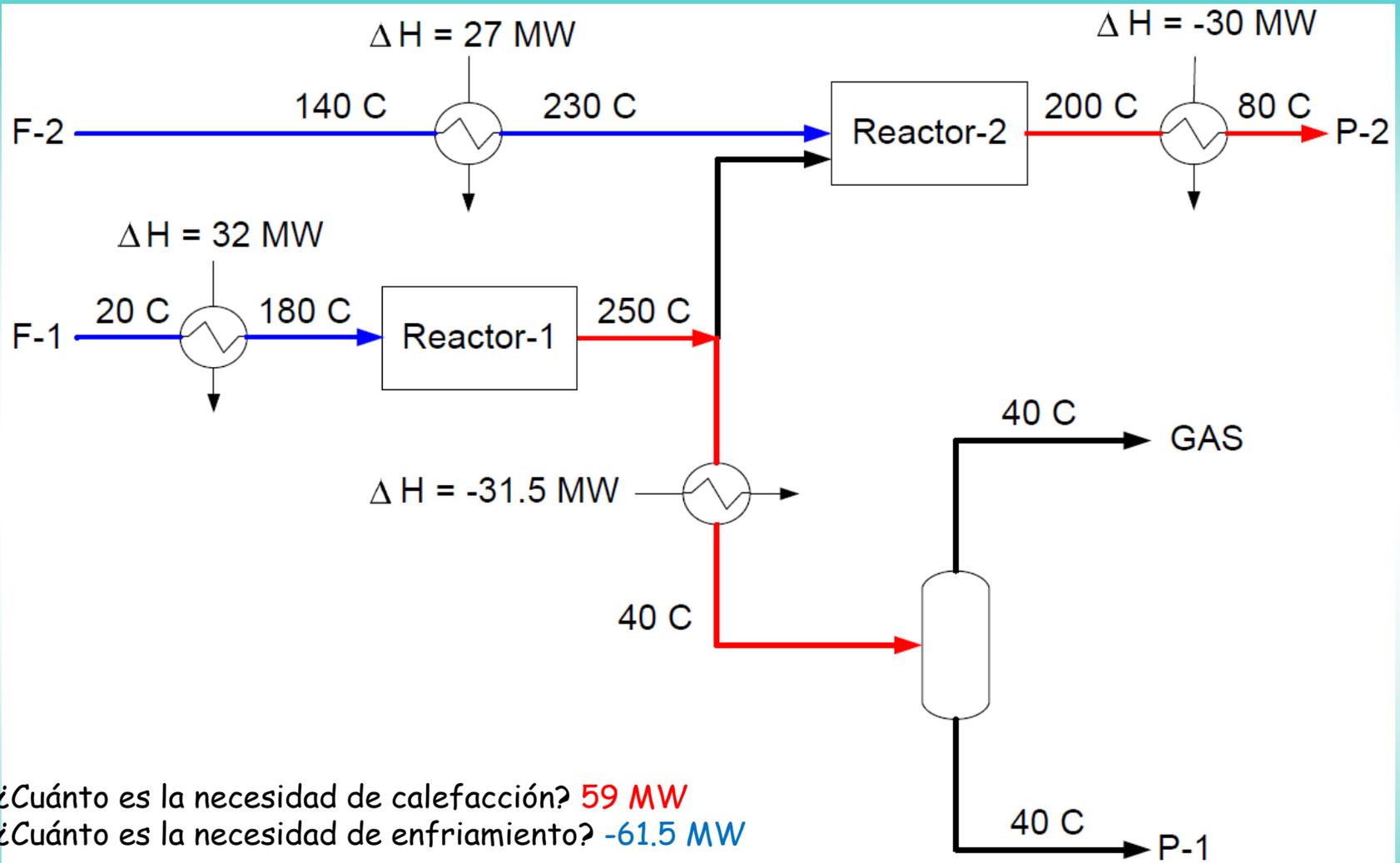
2. Generar alternativas para alcanzar las metas.

3. Modificar las alternativas basadas en consideraciones prácticas.

4. Diseño de equipo y determinación de costo para cada alternativa.

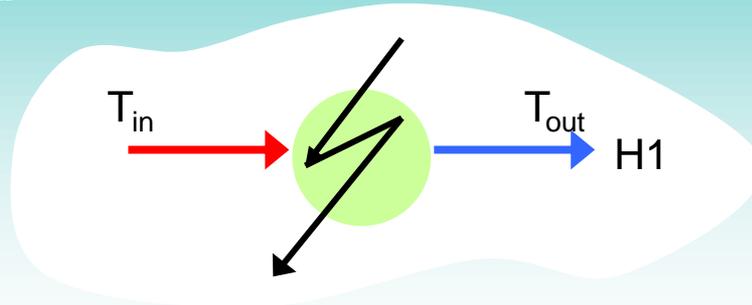
5. Selección de la alternativa técnico/económico más conveniente.

Análisis Pinch. Caso sin integración energética

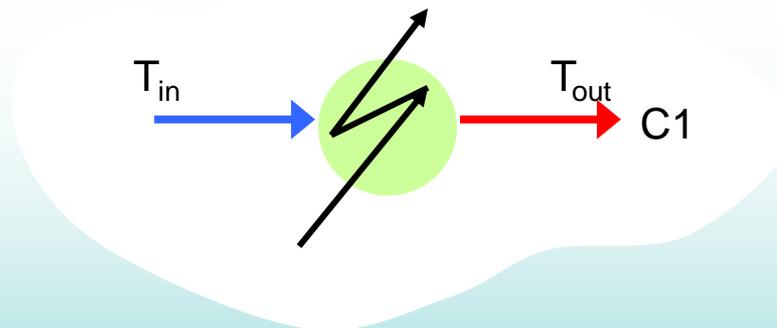


Identificación de las corrientes calientes, frías y de servicio en el proceso.

- **Corrientes calientes:** son aquellas que deben ser enfriadas o están disponibles para ser enfriadas ($T_{out} < T_{in}$).



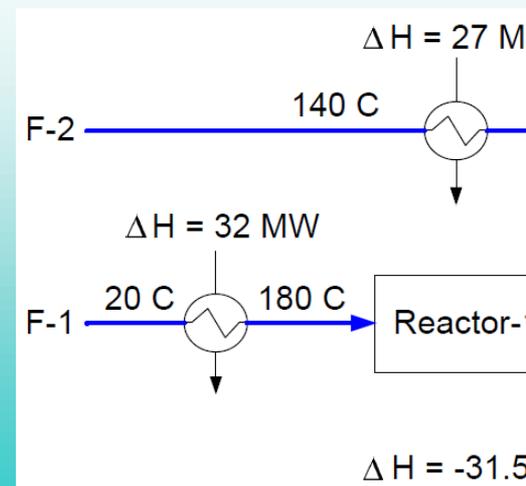
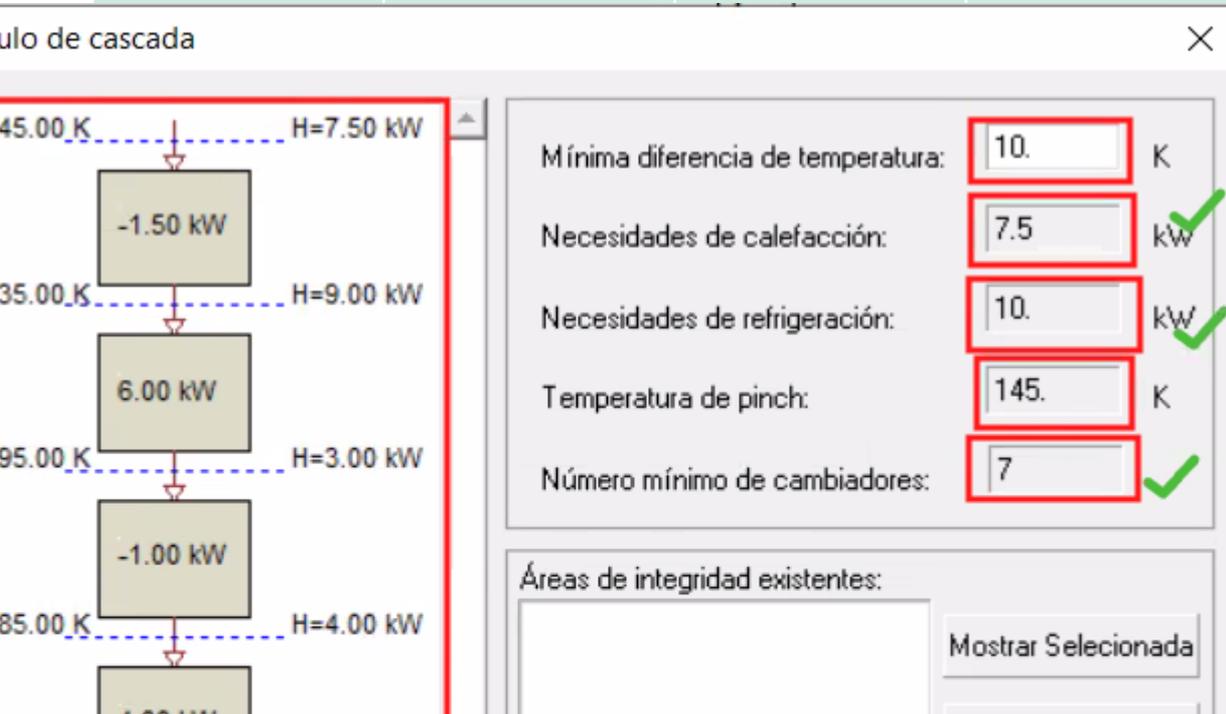
- **Corrientes frías:** son aquellas que deben ser calentadas ($T_{out} > T_{in}$).



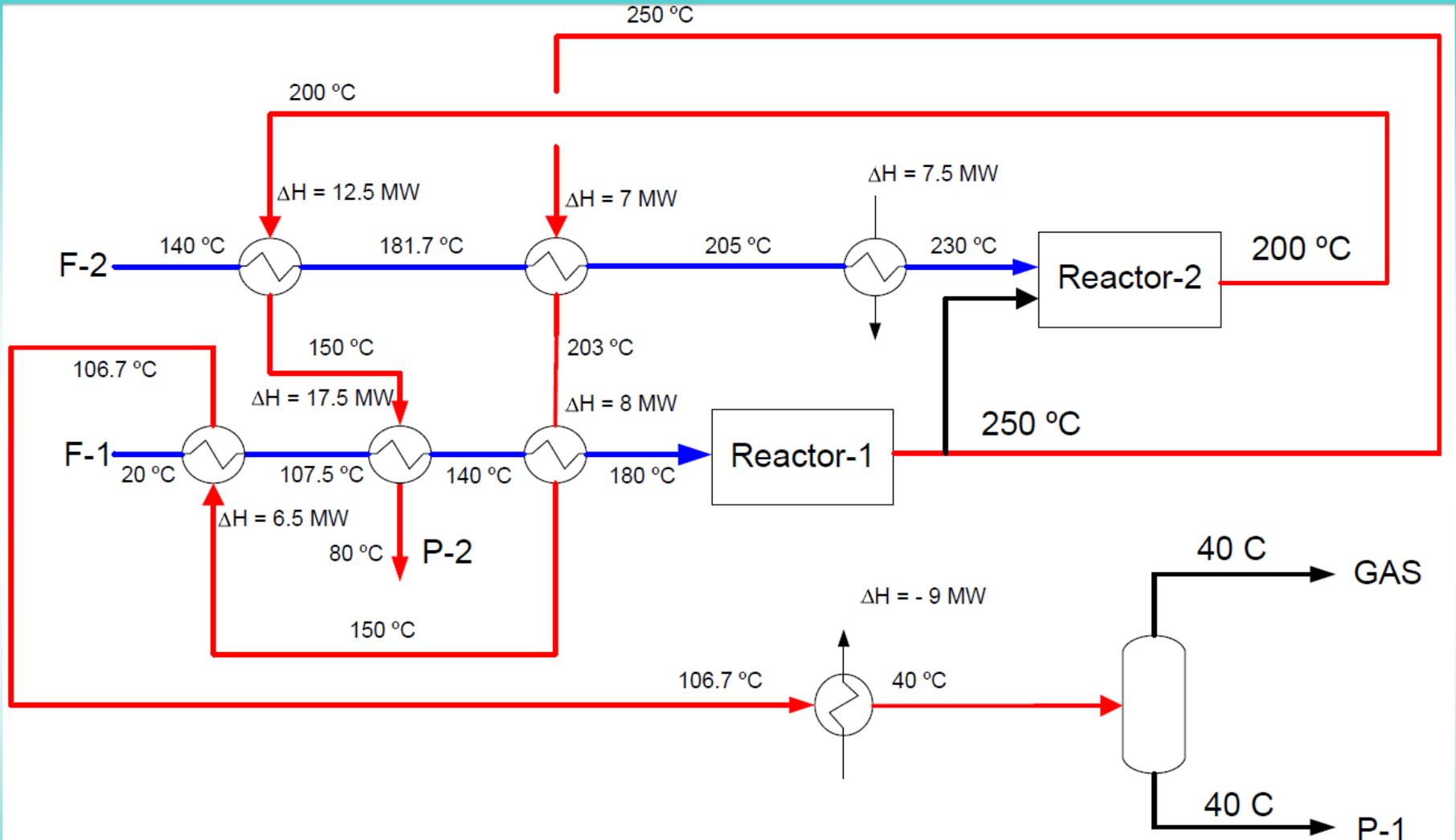
- **Corrientes de servicio:** son usadas para calentar o enfriar corrientes de proceso, cuando la transferencia de calor entre corrientes es económica o no práctica. Un número de diferentes **servicios calientes** (vapor, agua caliente, gas de flama, etc) y **servicio fríos** (agua de enfriamiento, aire, refrigerante, etc.) son usados en la industria.

Análisis Pinch. Tabla de corriente

N ^a Corriente	Descripción	FCp [MW/°C]	Tin [°C]	Tout [°C]	Q Disponible [MW]
H1	Caliente	0.15	250	40	-31.5
H2	Caliente	0.25	200	80	-30.0
C3	Fría	0.20	20	180	32
				230	27

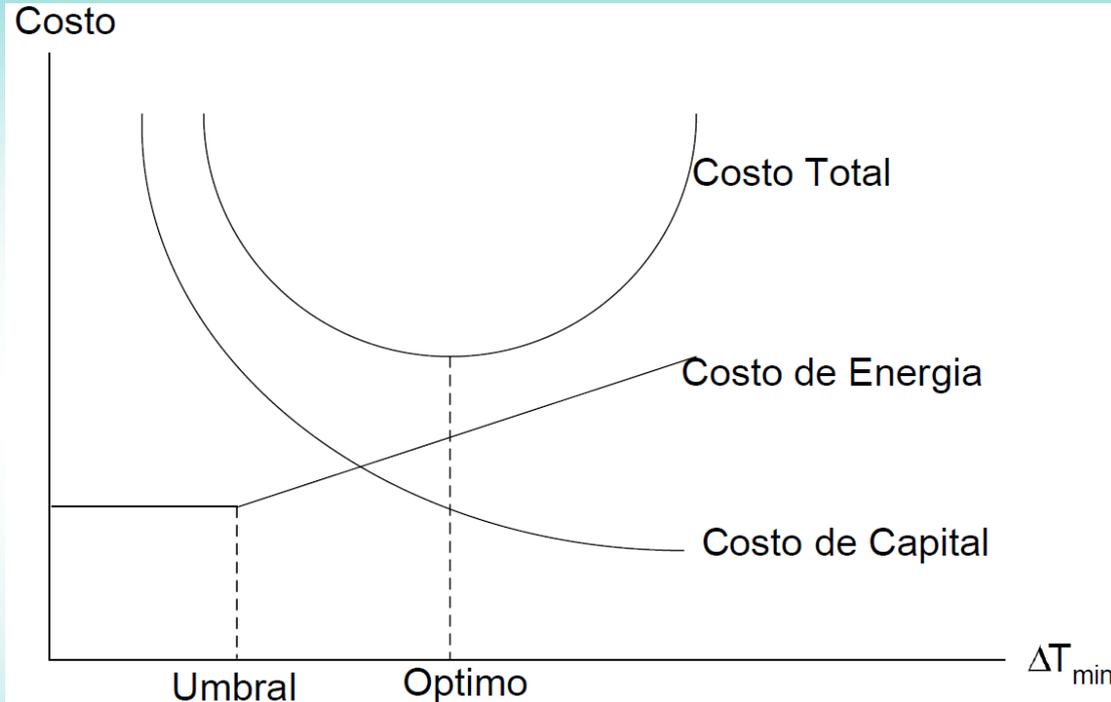


Análisis Pinch. Caso con integración energética



¿Cuánto es la necesidad de calefacción?
 ¿Cuánto es la necesidad de enfriamiento?

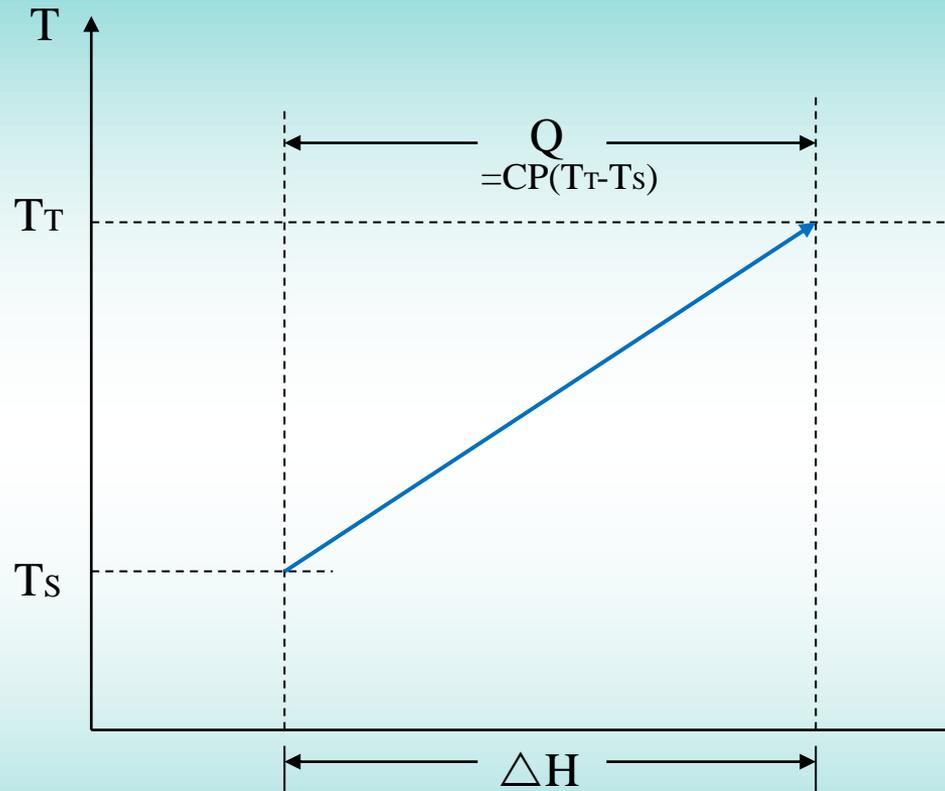
Análisis Pinch



Nº	Sector Industrial	Δt_{min} (°C)
1	Refinamiento de petróleo	20-40
2	Petroquímica	10-20
3	Química	10-20
4	Procesos a baja temperatura	3-5

Metas de energía

- Perfil de temperatura, diagrama T/H



T^S = Temperatura de suministro ($^{\circ}\text{C}$)
 T^T = Temperatura target ($^{\circ}\text{C}$)
 H = Entalpía de corriente (MW)
 CP = (MW/ $^{\circ}\text{C}$)
 = Flujo de capacidad de calor (MW/ $^{\circ}\text{C}$)
 = Flujo másico \times calor específico

$$\Delta H = Q$$

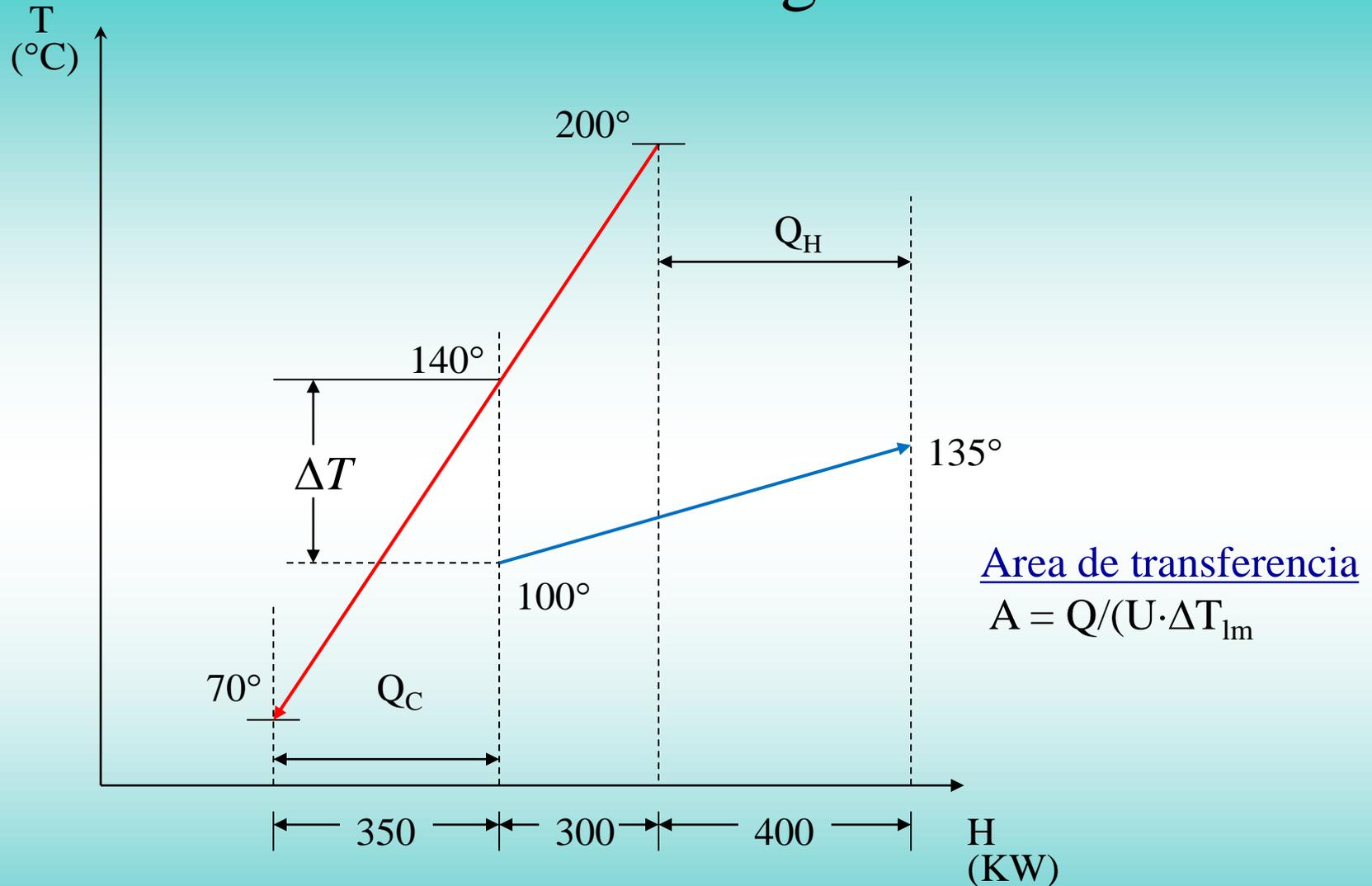
$$= \int_{T_S}^{T_T} CP dT$$

$$= CP(T_T - T_S)$$

$$CP = \frac{\Delta H}{\Delta T}$$

Representación del perfil de temperatura de una corriente de proceso (corriente fría)

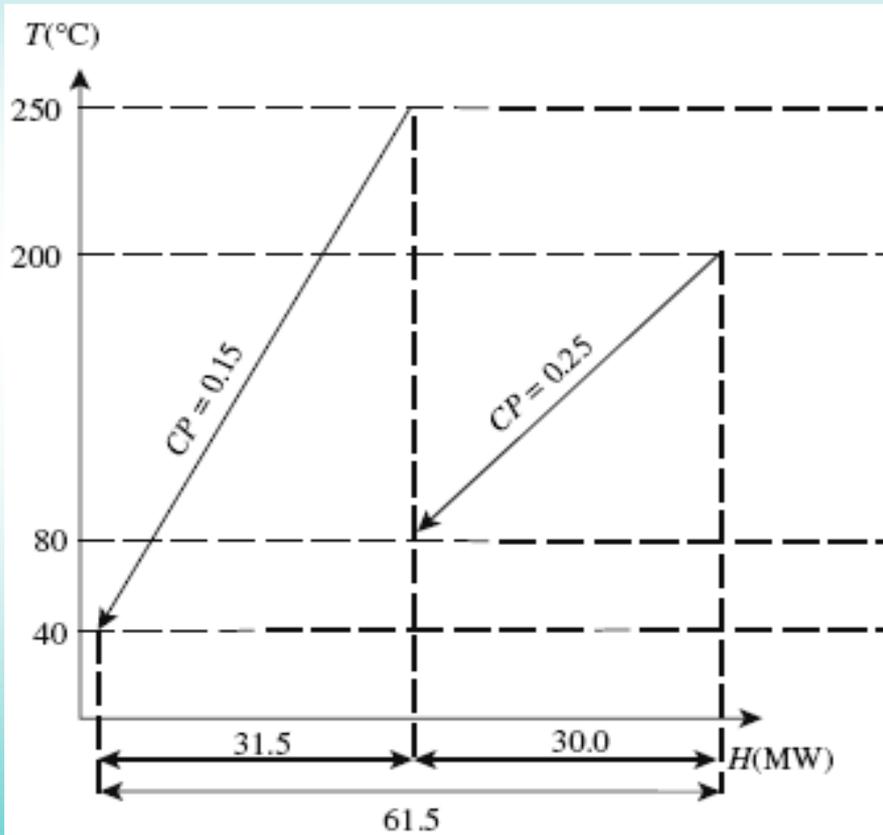
Metas de energía



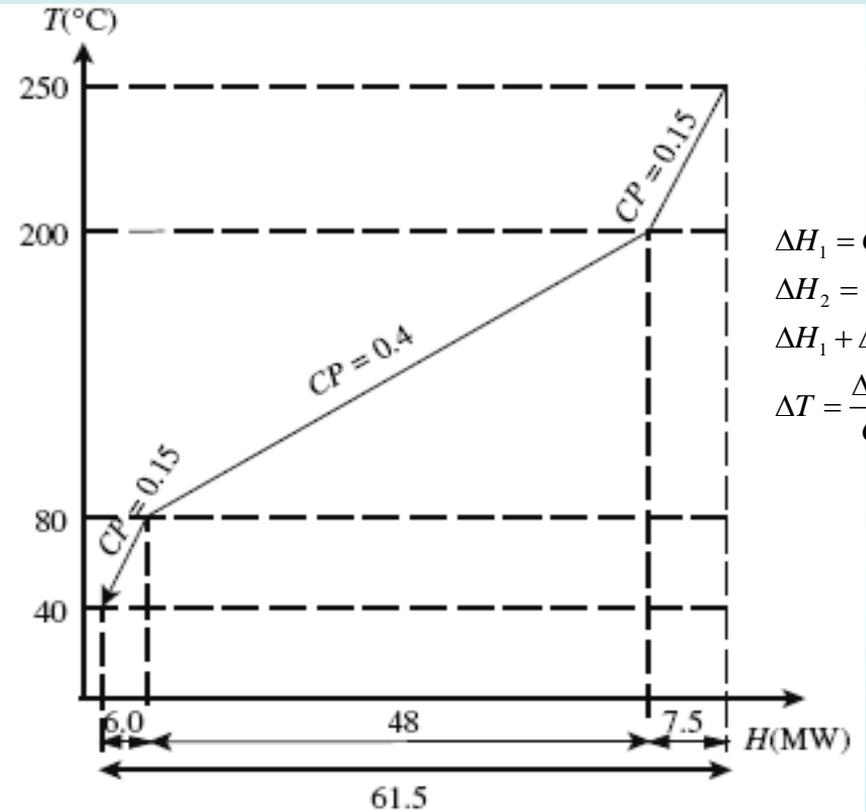
Perfil de temperatura de dos corriente de proceso (corriente caliente y fría)

Curva compuesta (CC)

Las curvas compuestas calientes (o frías) completas consisten en una serie de líneas rectas conectadas, cada cambio en la pendiente representa un cambio global en la velocidad de flujo de la capacidad calorífica (CP) de la corriente caliente. $CP = F \cdot cp$



(a) The hot streams plotted separately.



(b) The composite hot stream.

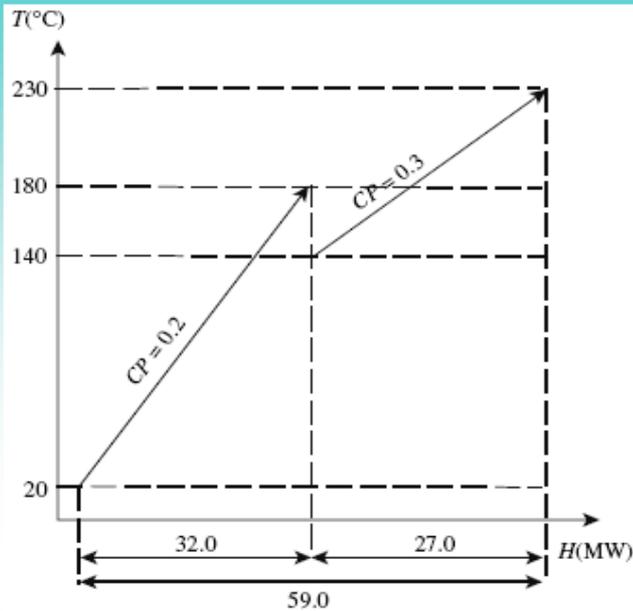
$$\Delta H_1 = CP_1 \cdot \Delta T_1$$

$$\Delta H_2 = CP_2 \cdot \Delta T_2$$

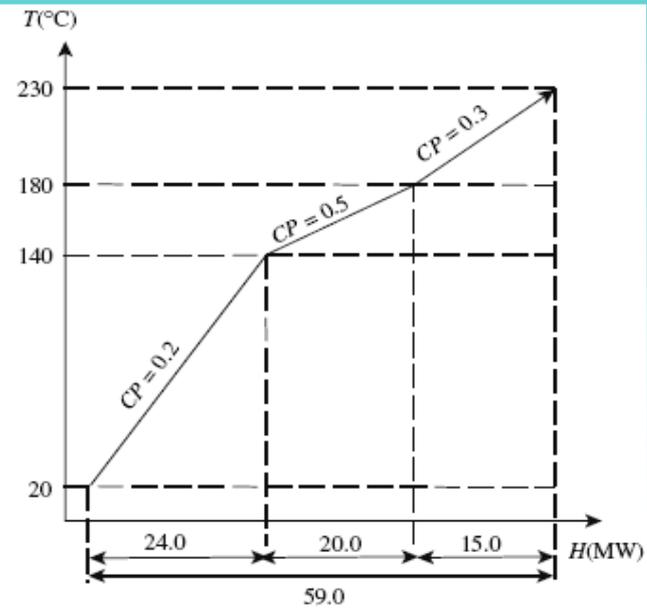
$$\Delta H_1 + \Delta H_2 = CP_{total} \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{\Delta H_1 + \Delta H_2}{CP_1 + CP_2}$$

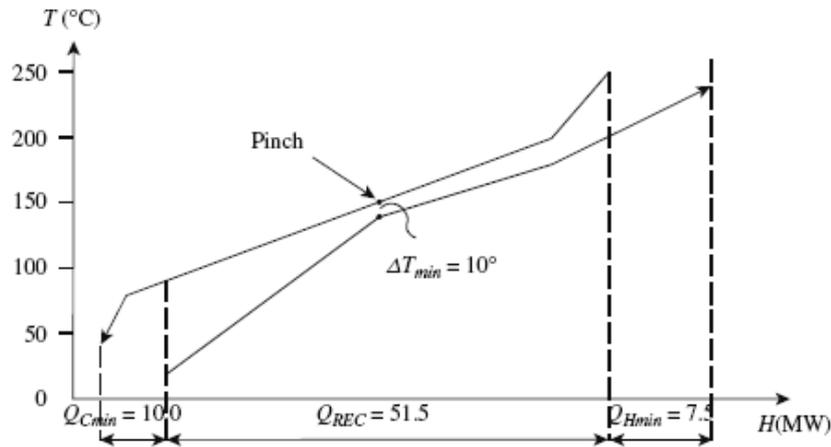
Curva compuesta (CC)



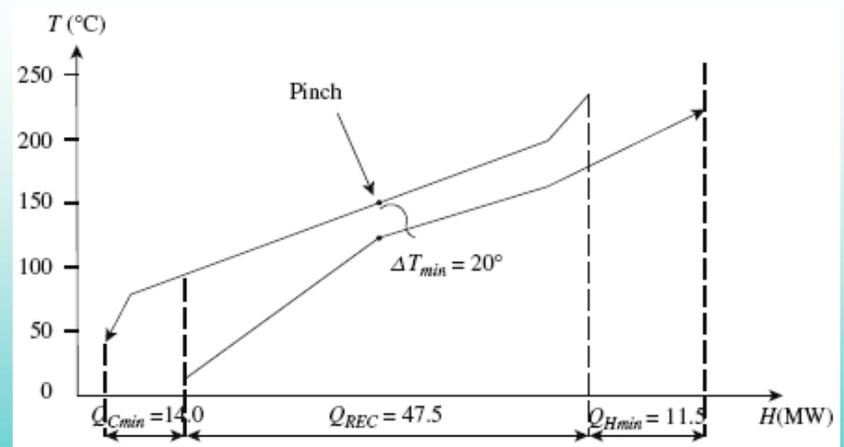
(a) The cold streams plotted separately.



(b) The composite cold stream.

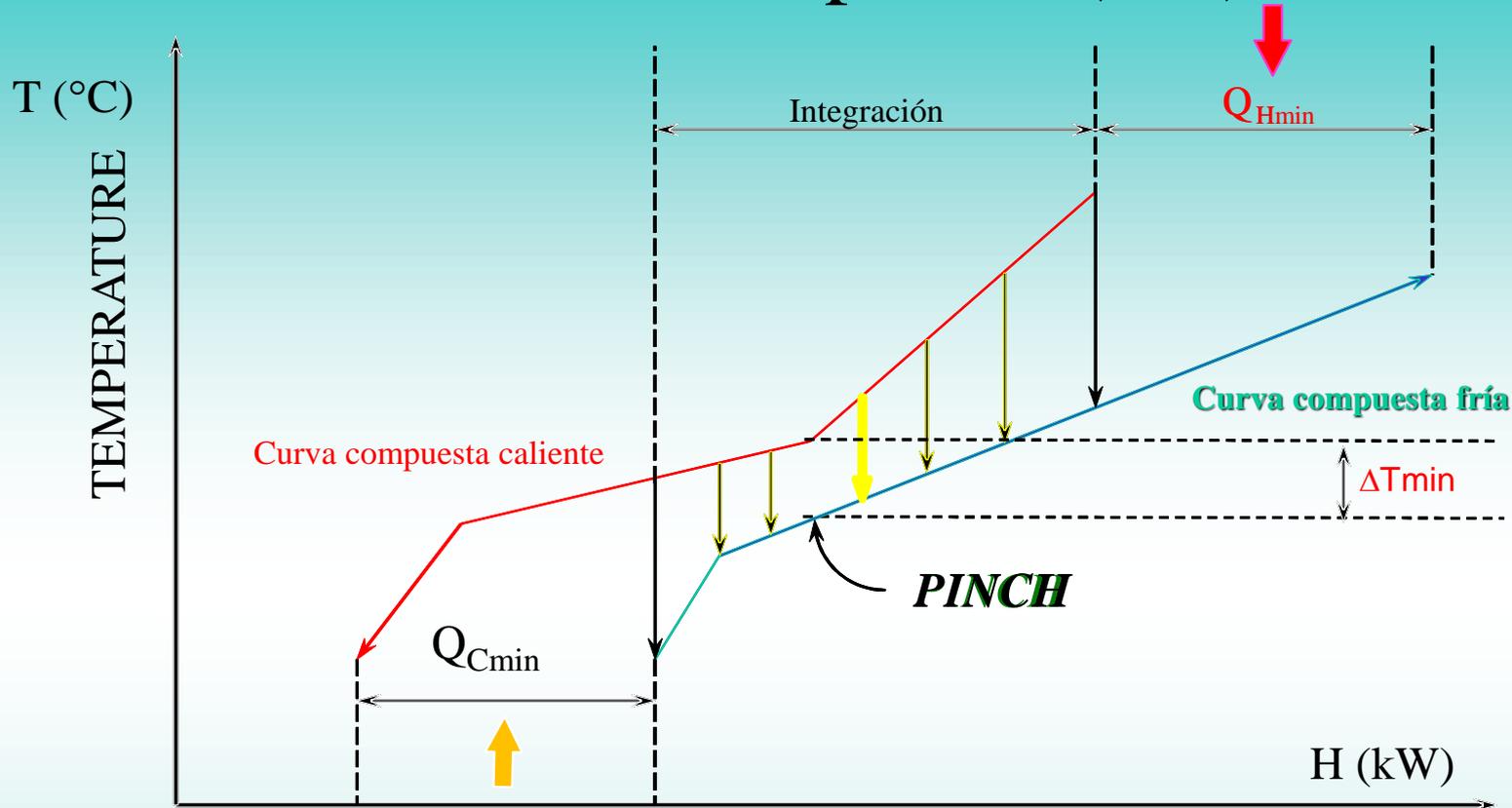


(a) The hot and cold composite curves plotted together at $\Delta T_{min} = 10^\circ\text{C}$.



(b) Increasing ΔT_{min} from 10°C to 20°C increases the hot and cold utility targets.

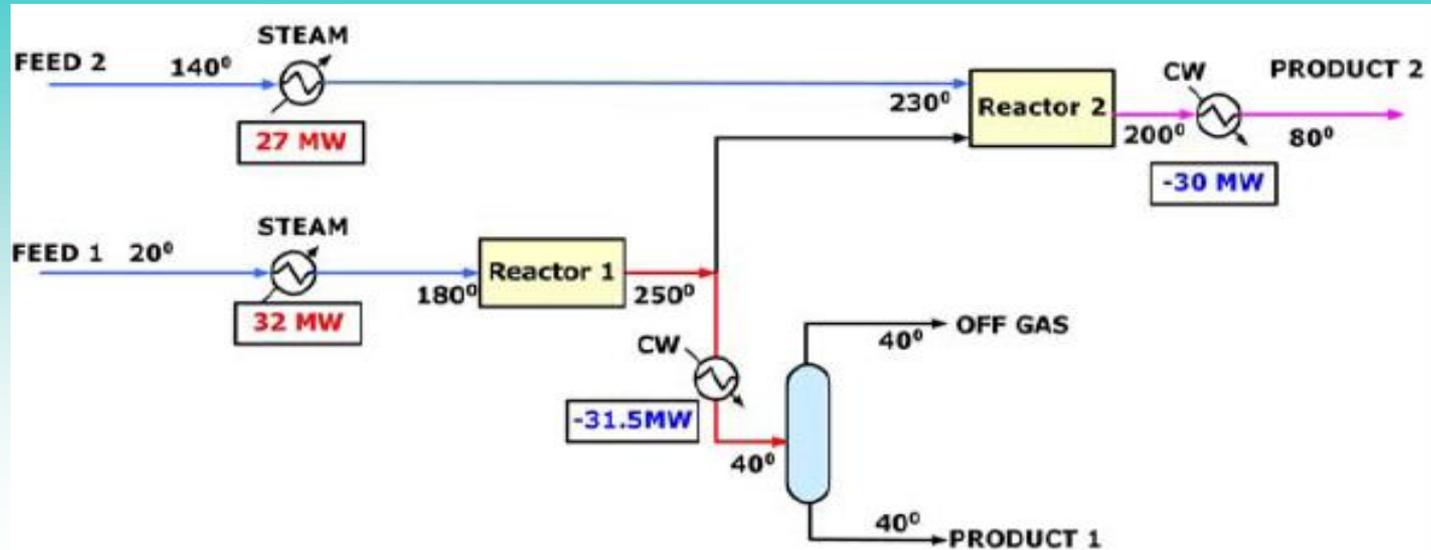
Curva compuesta (CC)



Las Curvas Compuestas Combinadas son usadas para predecir objetivos para:
Mínima energía requerida (servicios calefacción y enfriamiento).
Mínima área de transferencia de calor requerida, y
Número mínimo de unidades de intercambio de calor requeridas.

ΔT_{\min} puede medirse directamente de los perfiles T-H siendo la mínima diferencia vertical entre las curvas frías y calientes. *Este punto de mínima diferencia de temperatura representa un cuello de botella en la recuperación de calor y se refiere a él como "pinch".*

Análisis Pinch



- Tabla de corrientes

Corriente	TAG	TS' (°C)	TT' (°C)	CP (MW/°C)	ΔH (MW)
Feed 1	C1	20	180	0,20	32
Feed 1	C2	140	230	0,30	27
R-Sr	H1	250	40	0,15	-31,5
Product1	H2	200	80	0,25	-30

- Elección del valor inicial de ΔT_{MIN} .

$$\Delta T_{\text{min}} = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Algoritmo Tabla de Problema

- Tabla de corrientes

Corriente	TAG	T ^{S'} (°C)	T ^{T'} (°C)	CP (MW/°C)	ΔH (MW)
Feed 1	C1	20	180	0,20	32
Feed 1	C2	140	230	0,30	27
R-Sr	H1	250	40	0,15	-31,5
Product1	H2	200	80	0,25	-30

- ΔT_{min}

$$\Delta T_{\min} = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Paso 1: Ajustar por ΔT_{min}

Restar ΔT_{min}/2 de las temperaturas de las corrientes calientes y sumar ΔT_{min}/2 de las temperaturas de las corrientes frías)

Corriente	TAG	T ^{S'} (°C)	T ^{T'} (°C)
Feed 1	C1	25	185
Feed 1	C2	145	235
R-Sr	H1	245	35
Product1	H2	195	75

Algoritmo Tabla de Problema

Paso 2: Intervalos de Temperatura

Definir intervalos de Temperatura:

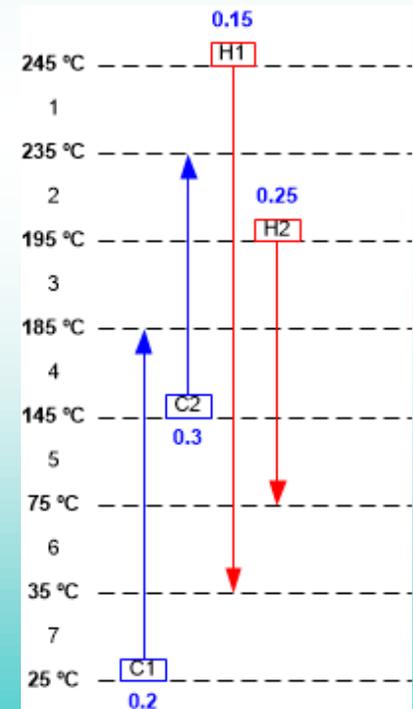
245 °C ⇒ 235 °C ⇒ 195 °C ⇒ 185 °C ⇒ 145 °C ⇒ 145 °C ⇒ 75 °C ⇒ 35 °C ⇒ 25 °C. Son 7 intervalos.

Paso 3: Balance de calor en los Intervalos

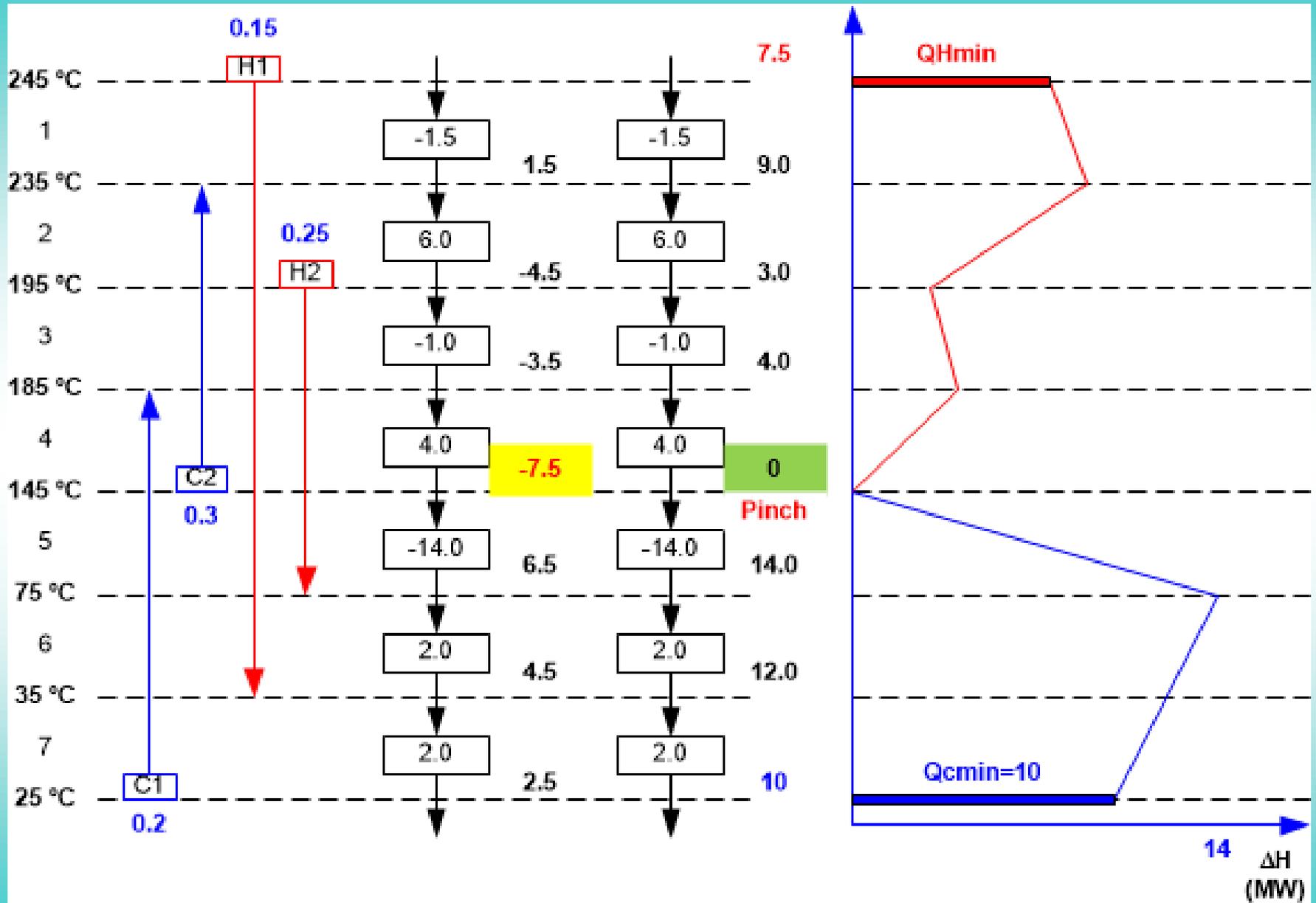
Para cada intervalo, calcule:

$$\Delta H_i = (T_i - T_{i+1}) \times (\Sigma CP_{\text{COLD}} - \Sigma CP_{\text{HOT}})$$

Intervalo	T_i	$T_i - T_{i+1}$	$\Sigma CP_{\text{COLD}} - \Sigma CP_{\text{HOT}}$	ΔH_i
1	245	10	-0,15	-1,5
2	235	40	0,05	2
3	195	10	0,1	-1
4	185	40	0,1	4
5	145	70	-0,2	-14
6	75	40	0,05	2
7	35	10	0,2	2
	25			



Paso 4: Cascada para flujo de calor positivo.



Gran curva compuesta

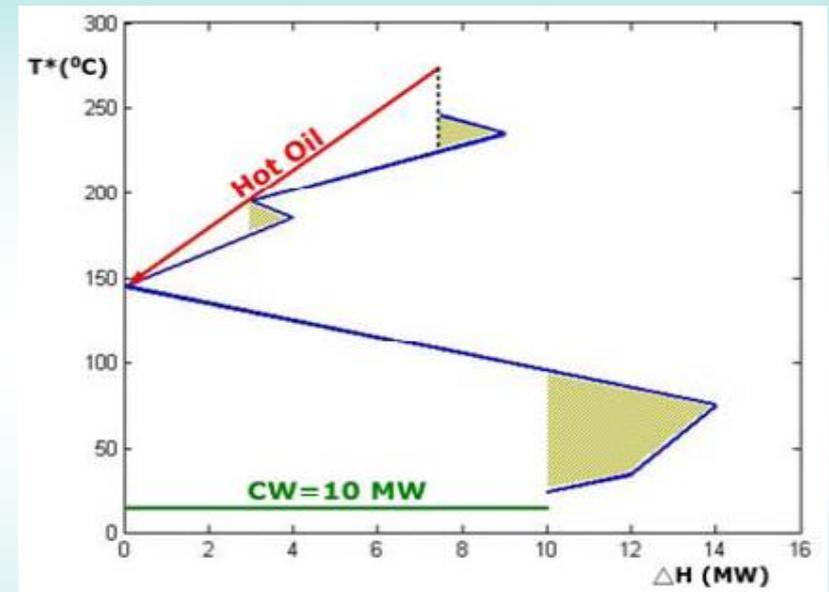
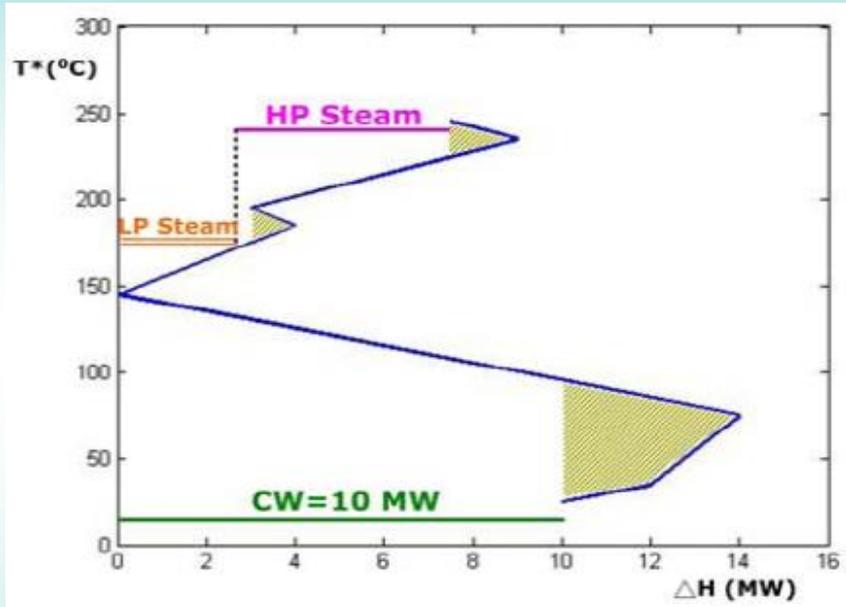
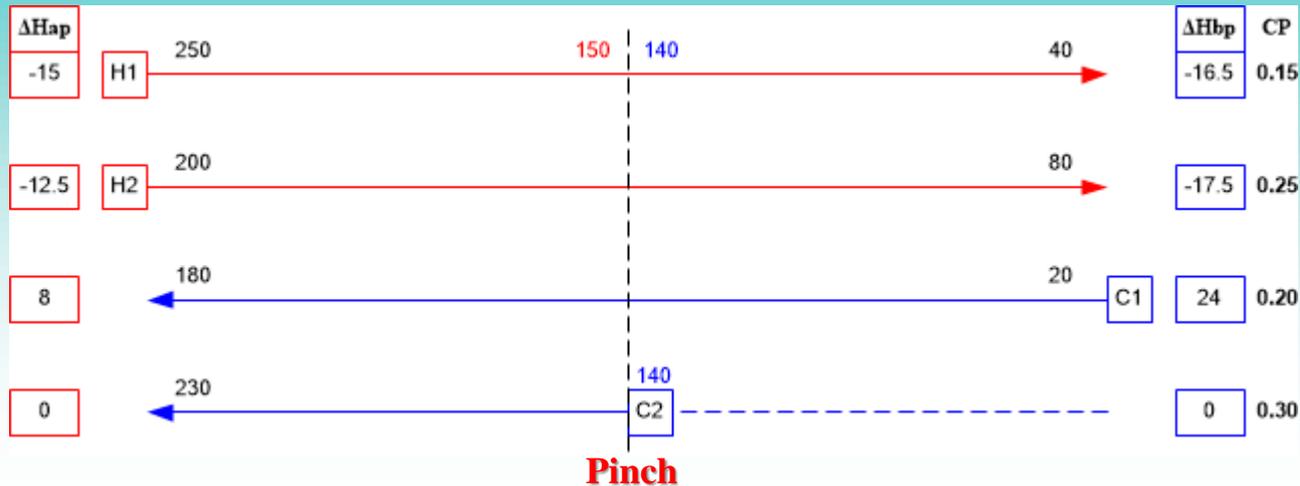


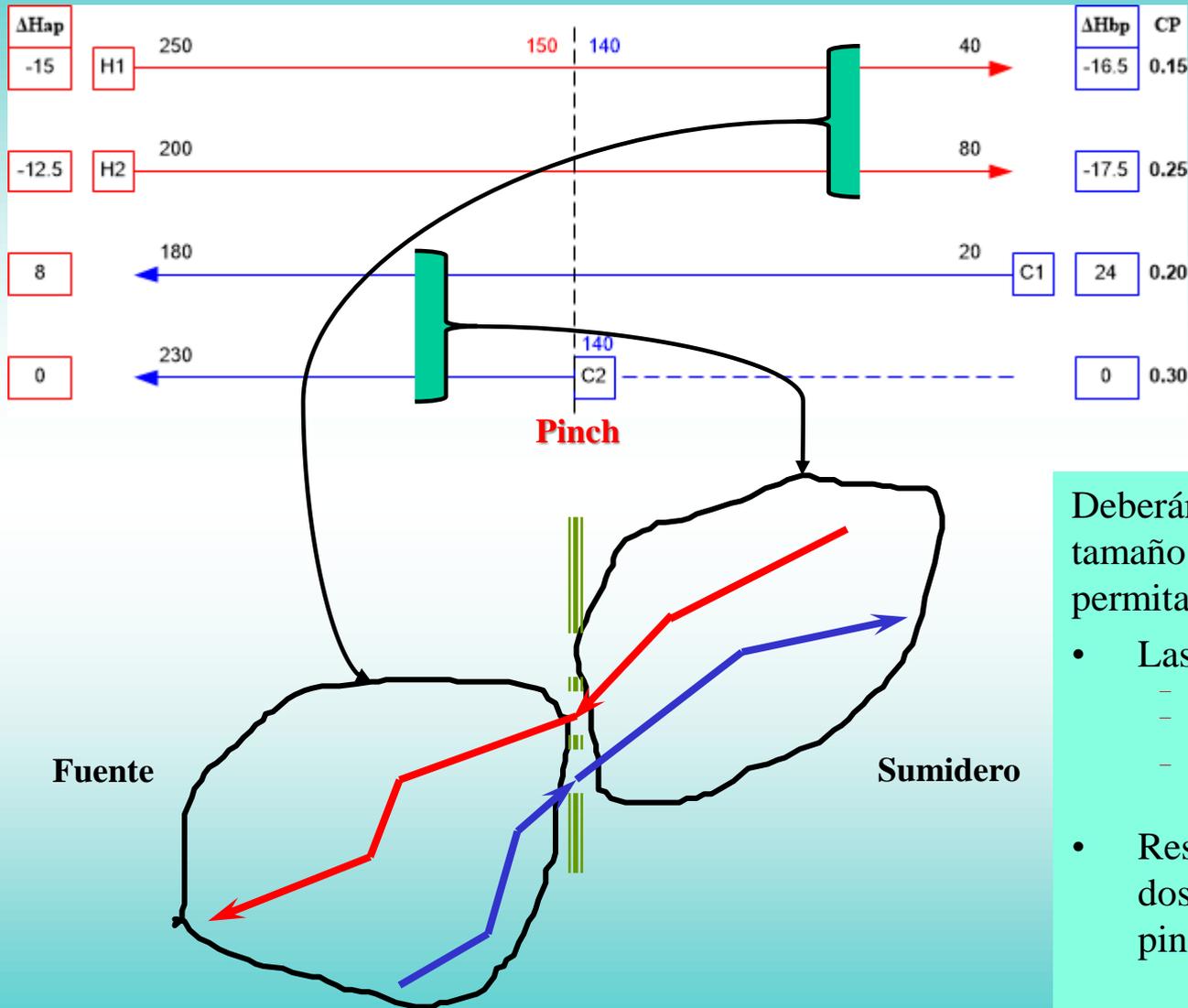
Diagrama de grilla



Características del diagrama de grilla.

- Las corrientes se representan por líneas horizontales.
- La temperatura decrece hacia la derecha, sin escala.
- Se identifican las corrientes y se indican sus datos de temperatura y CP.
- El pinch se representa por una línea vertical que divide el conjunto de corrientes.

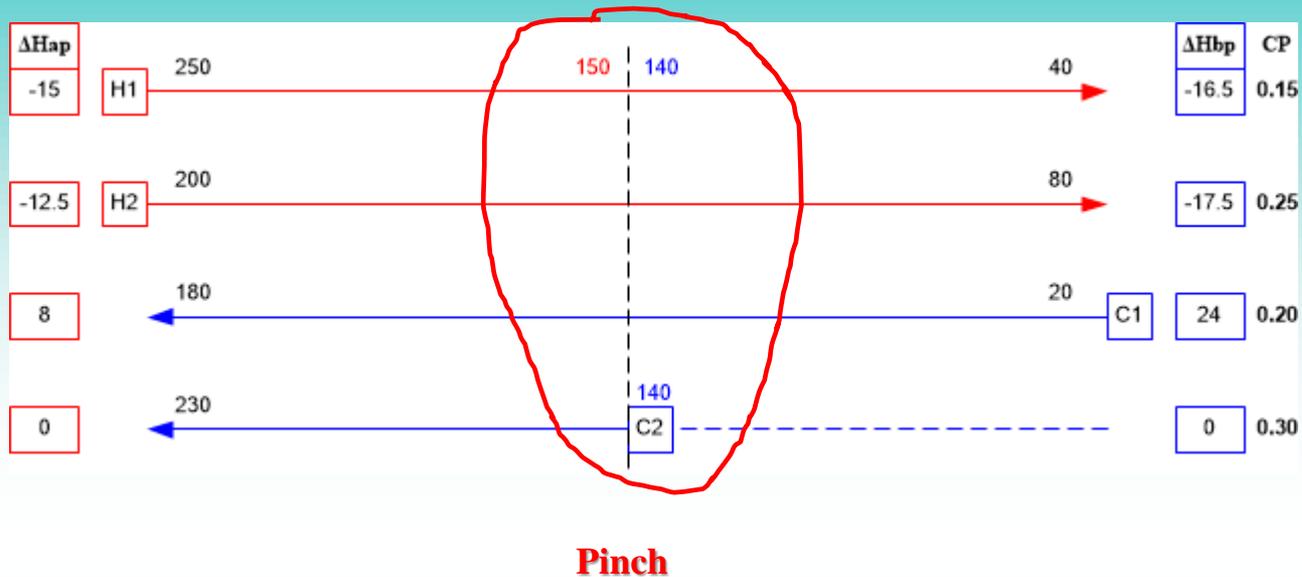
Selección de intercambios



Deberán elegirse la ubicación y tamaño de los intercambiadores que permitan cumplir las metas de **MER**.

- Las restricciones son:
 - No transferir a través del pinch.
 - No usar servicio de enfriamiento por sobre el pinch.
 - No usar servicio de calentamiento bajo el pinch.
- Respetar la independencia de los dos sistemas, abajo y sobre el pinch.

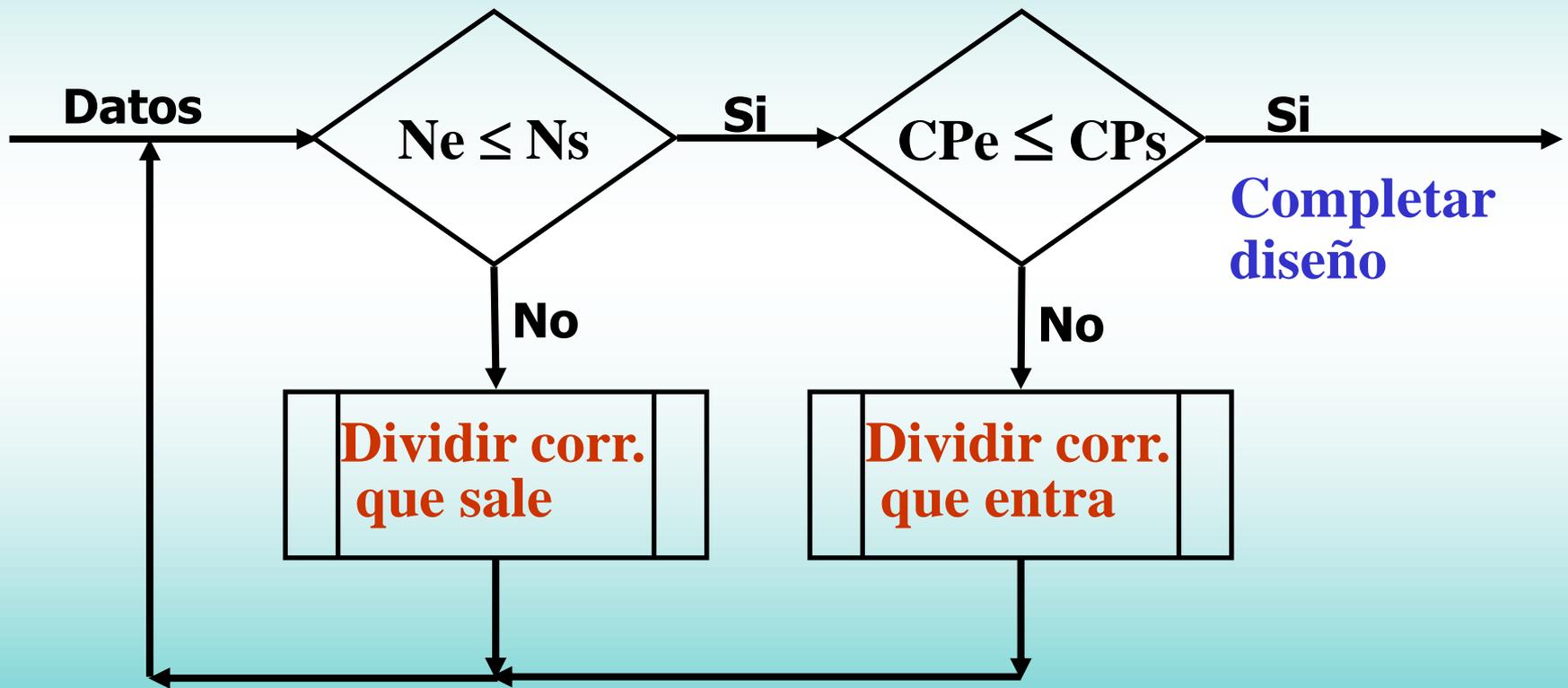
Selección de intercambios



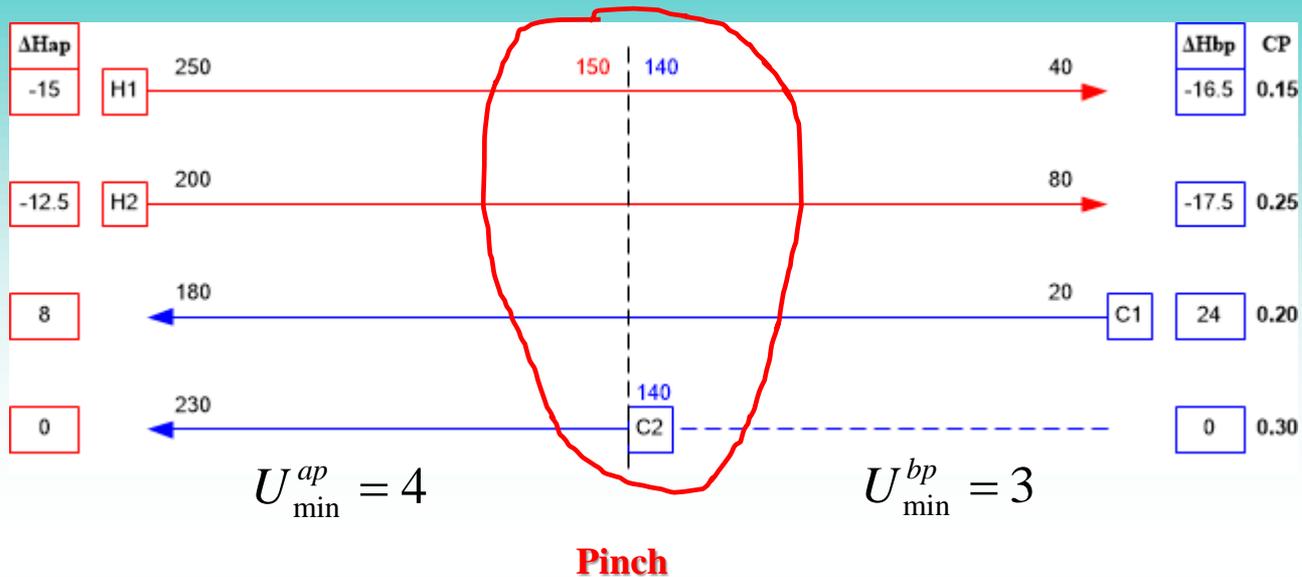
El pinch es el punto mas difícil para el diseño, por las restricciones de transferencia de calor, conviene comenzar aquí.

Red de intercambio de calor

- **Algoritmo propuesto:**



Selección de intercambios



¿Cuántos unidades mínimas de intercambio son necesarias para la MER?

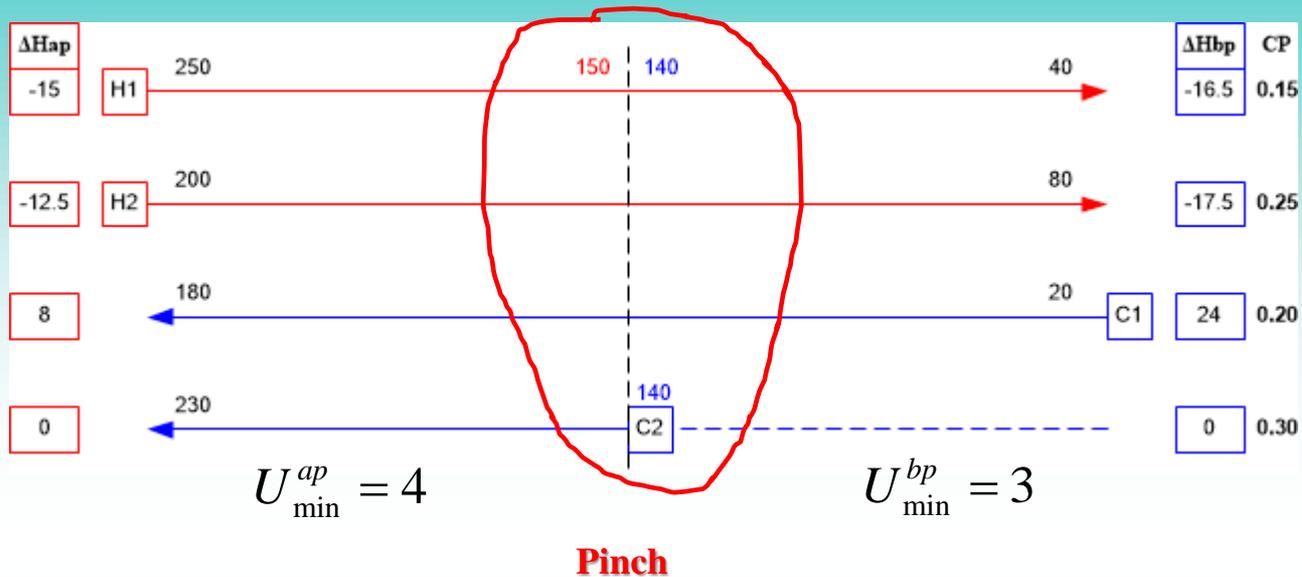
$$U_{\min}^{ap} = N^{ap} + S^{ap} - 1 \quad U_{\min}^{bp} = N^{bp} + S^{bp} - 1$$

U: unidades, N: corriente de proceso, S: tipo de servicio (calefacción o enfriamiento)

Sistema total:

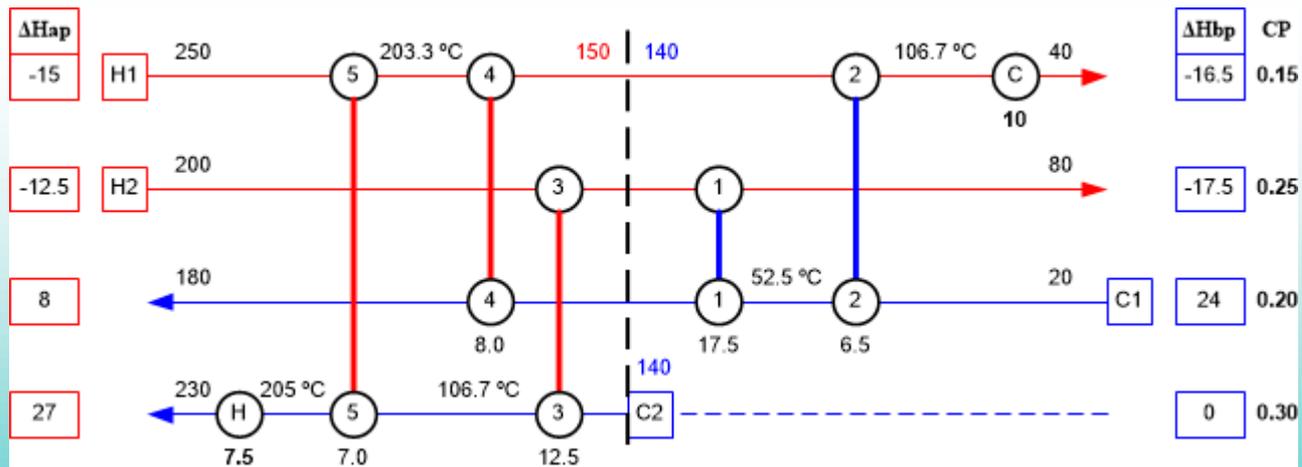
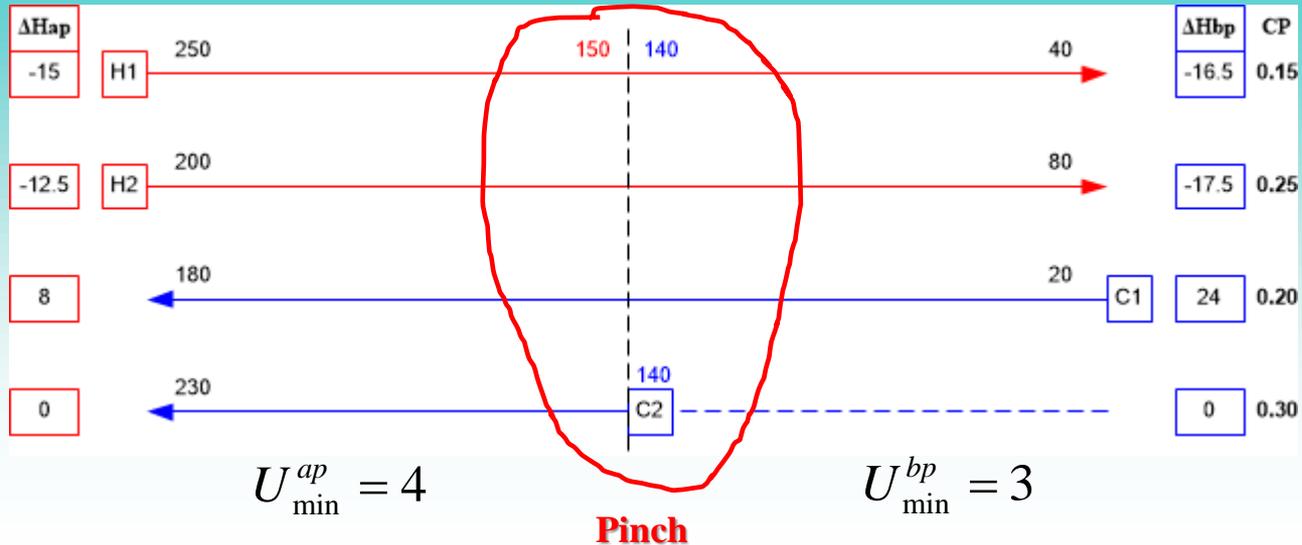
$$U = N + S - 1$$

Reglas de diseño

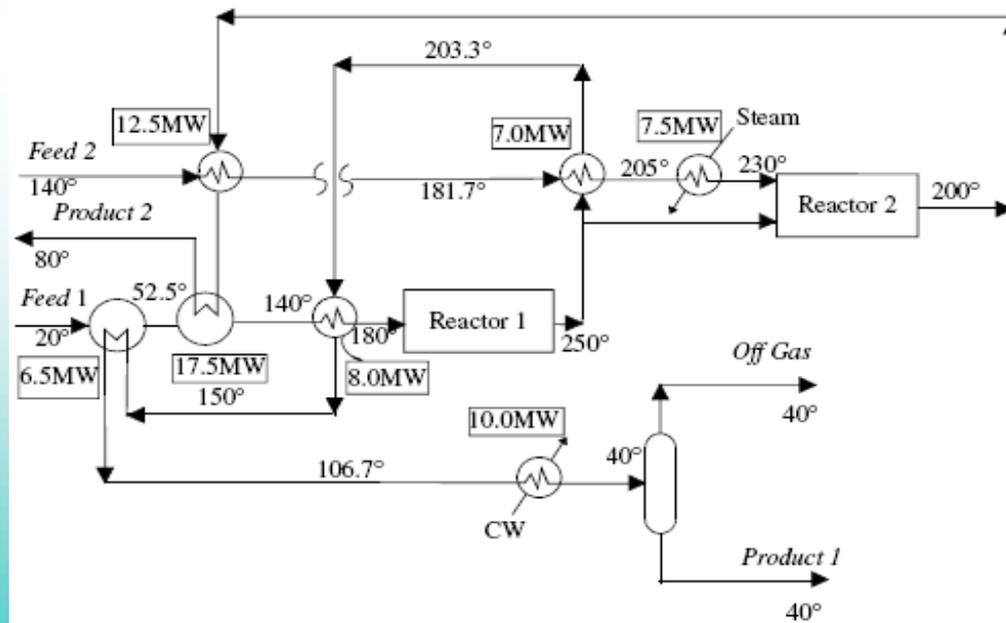
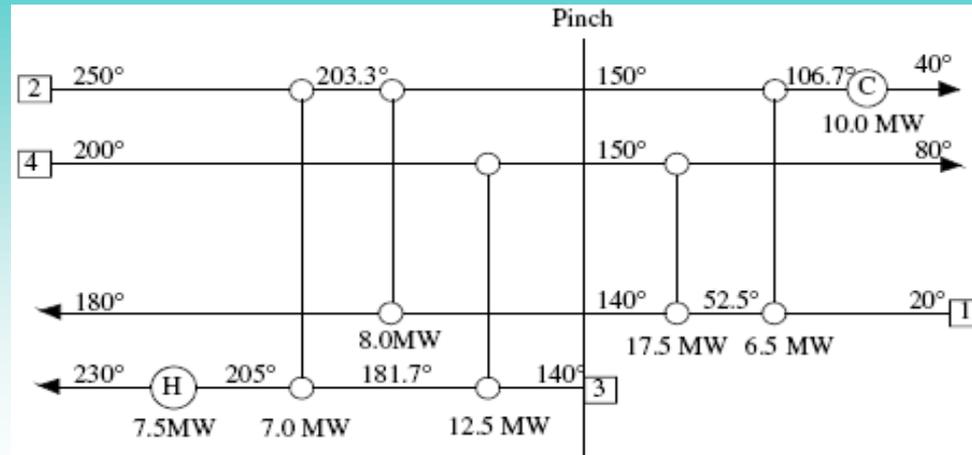


- **Dividir el problema en el pinch.**
- **Comenzar la asignación en el pinch.**
- **Comenzar siempre con la corriente entrante de mayor CP.**
- **Intercambio hasta agotar una corriente.**
- **Lejos del pinch no hay restricciones, aplicar cualquier método.**

Red de intercambio de calor

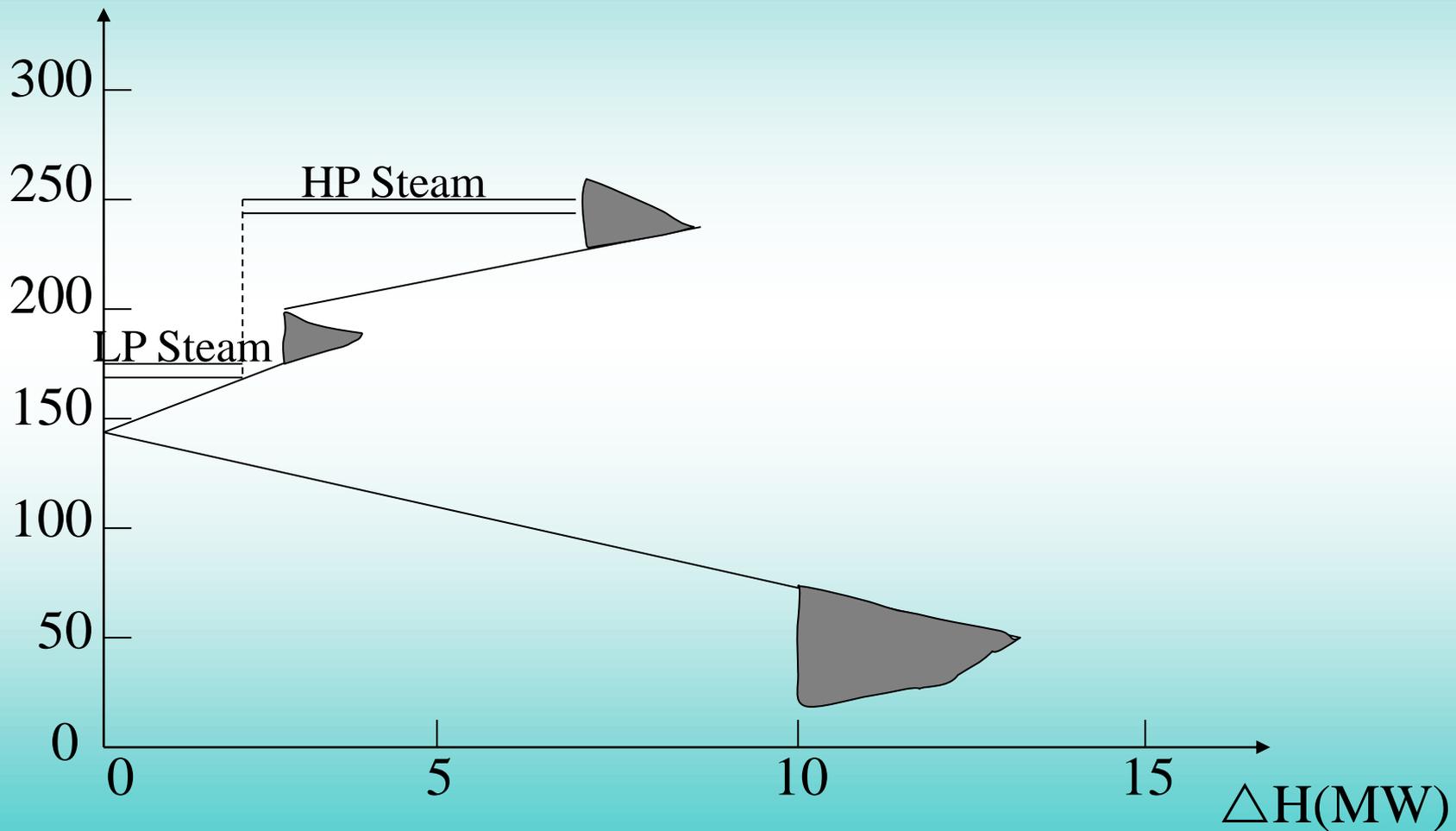


Red intercambio de calor



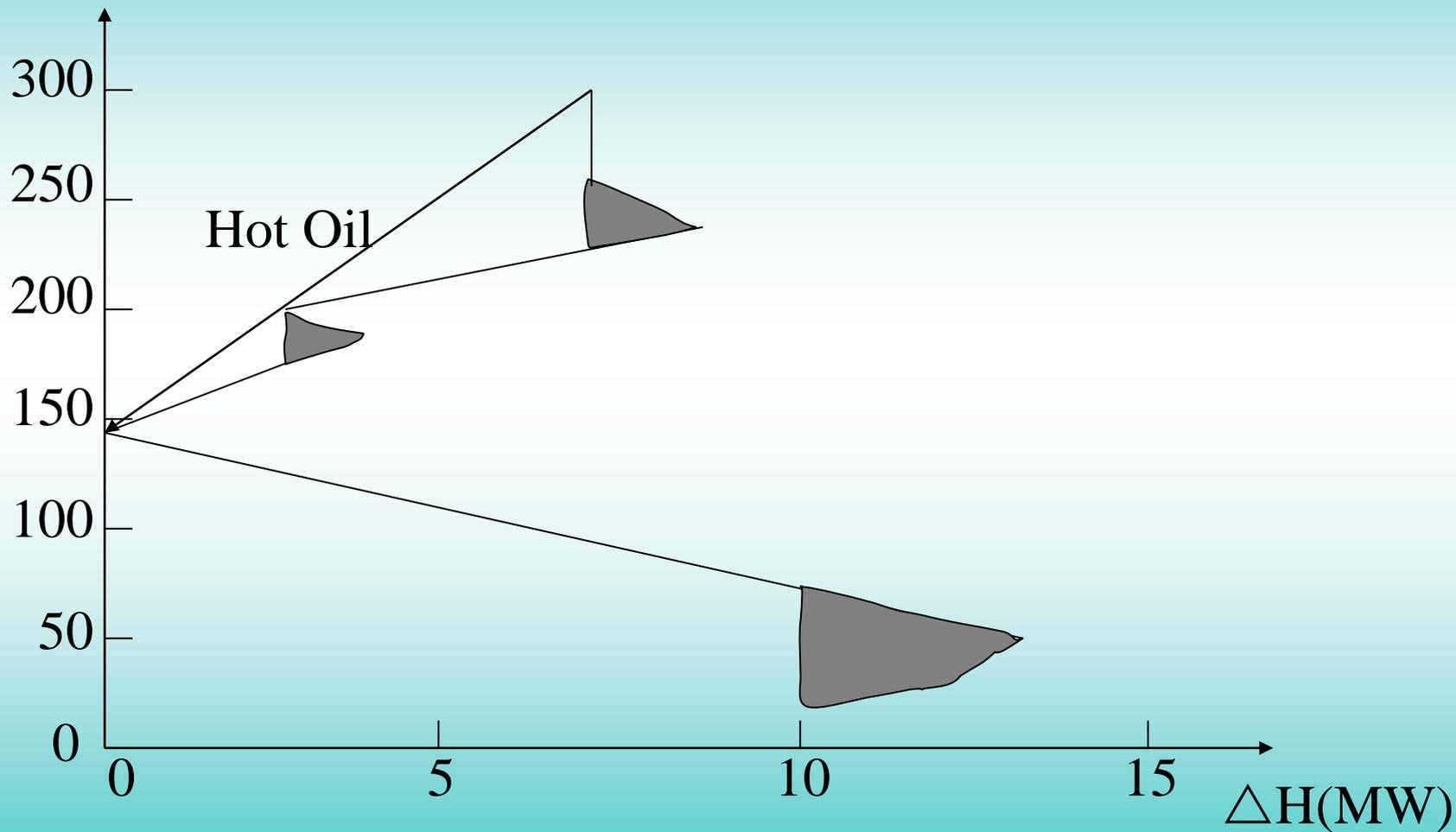
Gran Curva compuesta

T°C

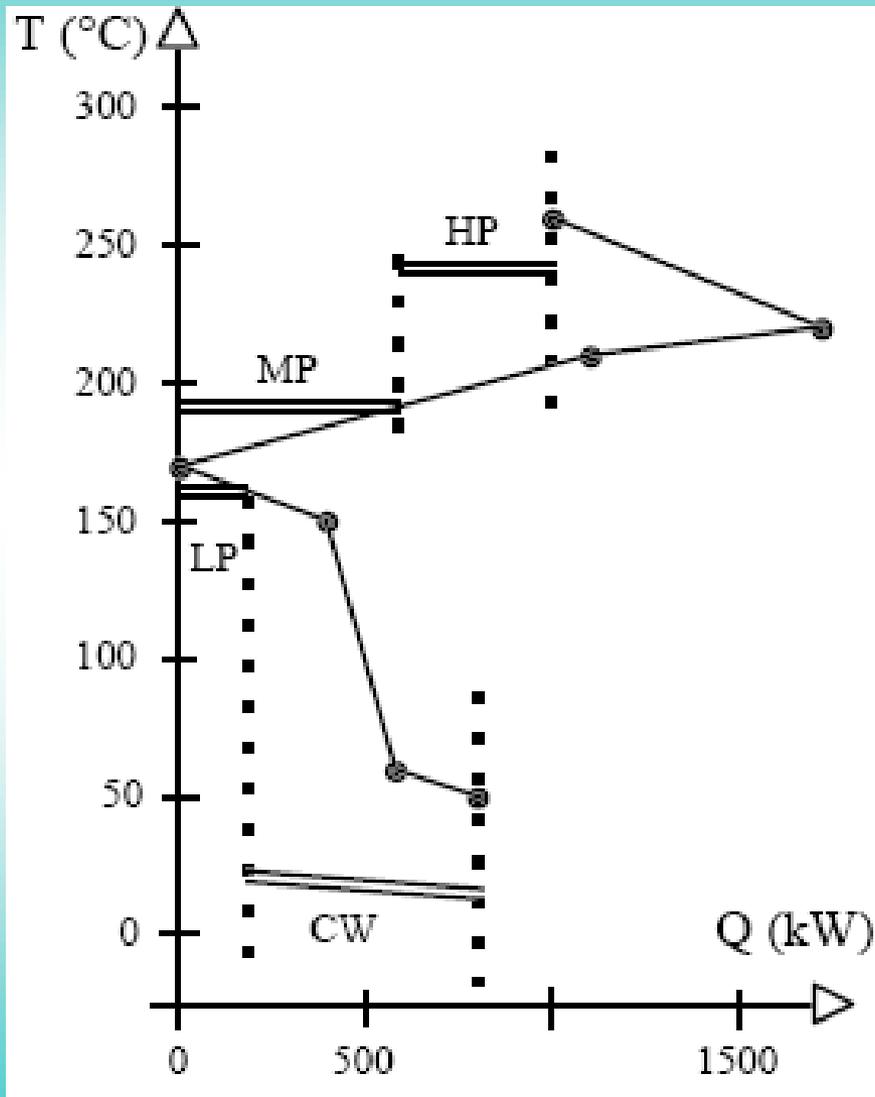


Gran Curva compuesta

T°C



Integración de calor y potencia



Consumo

HP: 400 kW

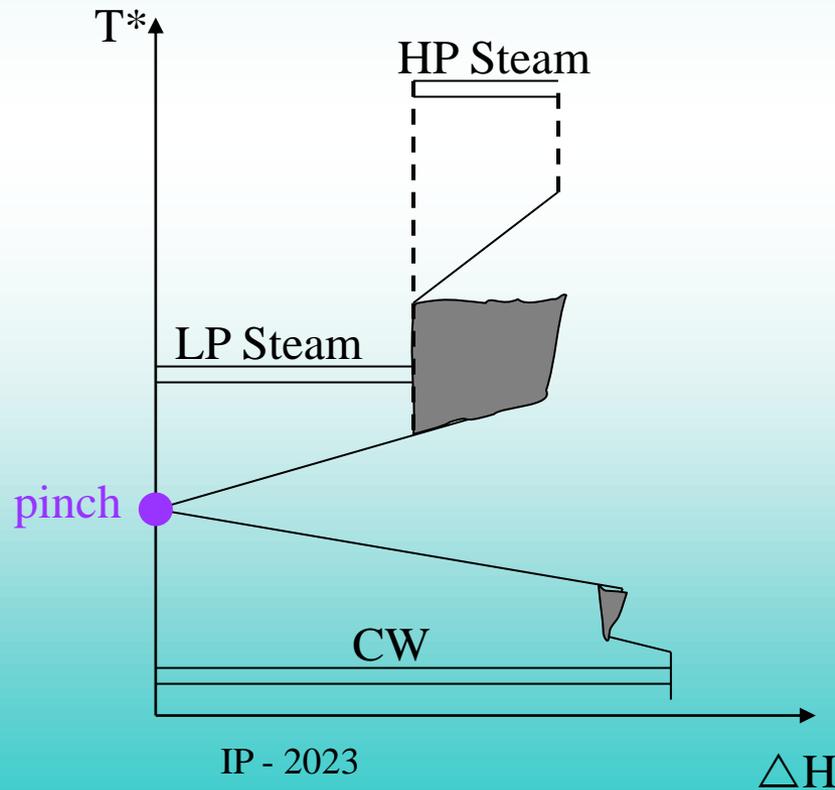
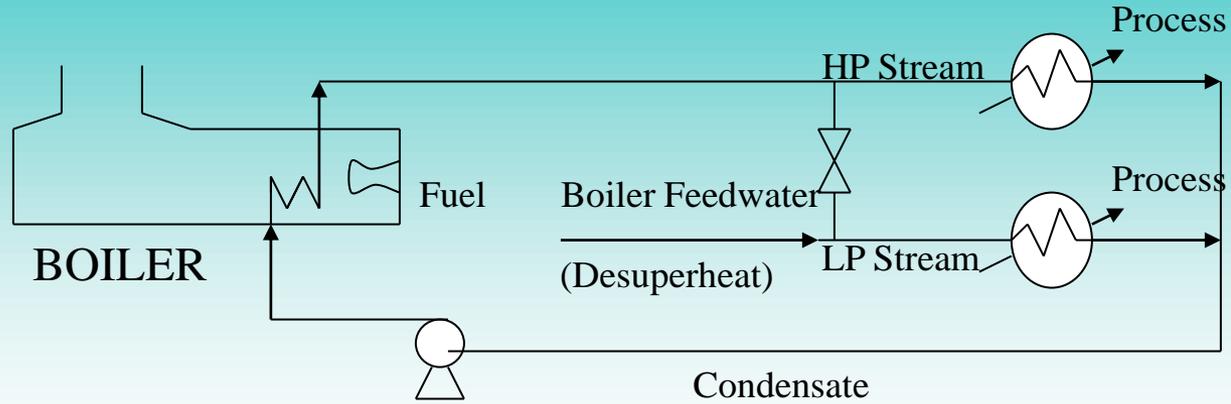
MP: 600 kW

CW: 600 kW

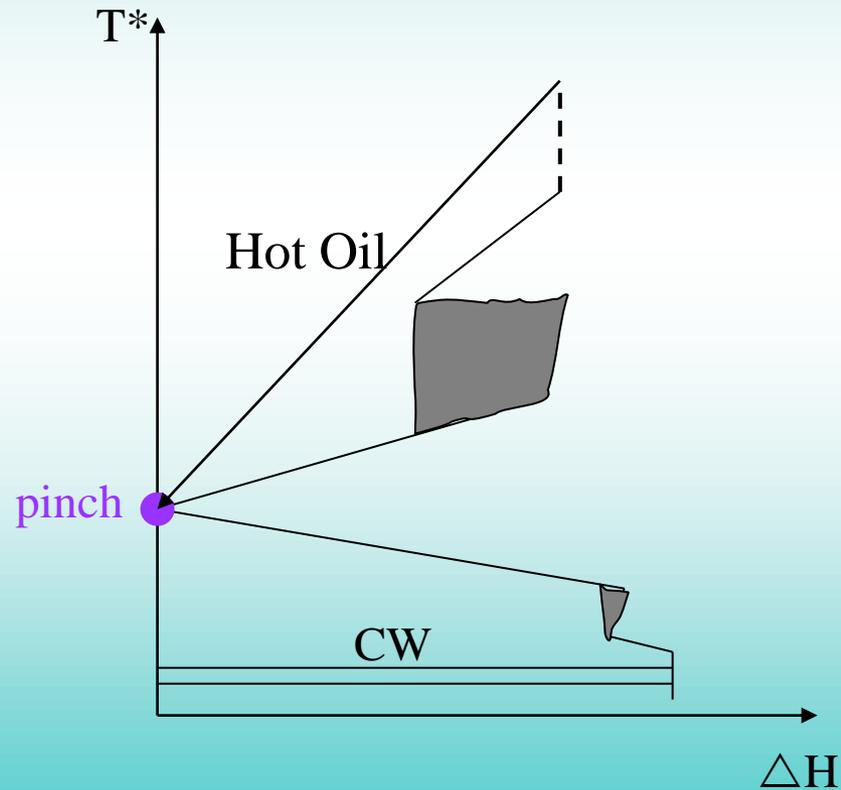
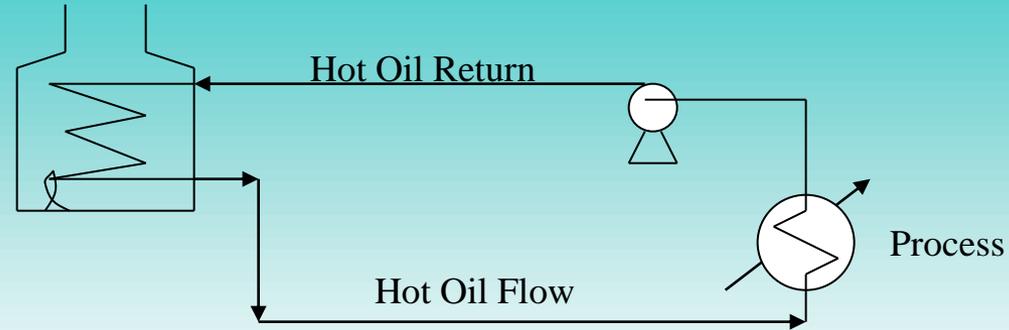
Producción

LP: 200 kW

Integración de calor y potencia

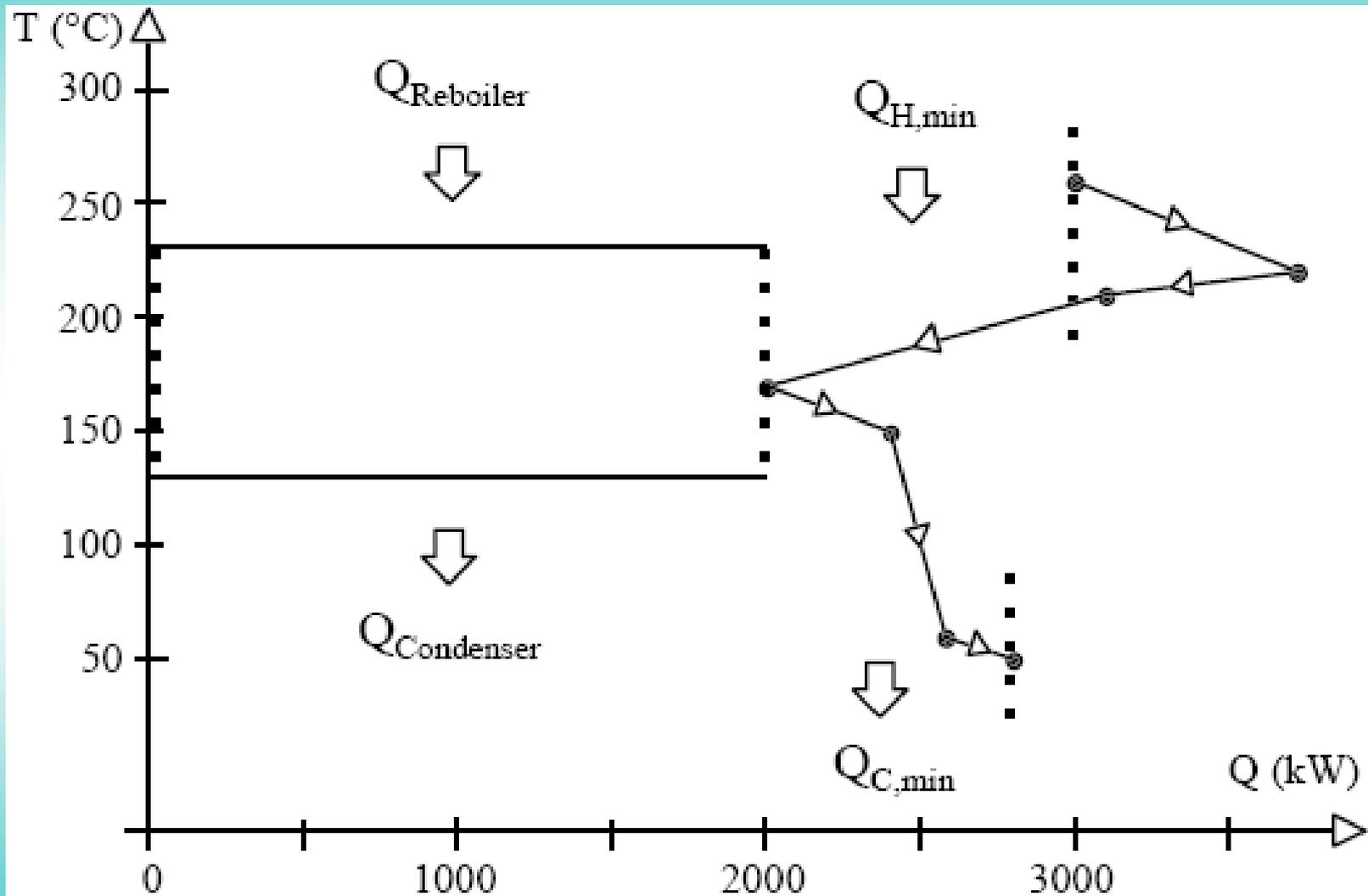


Integración de calor y potencia



Integración energética

Columna de destilación



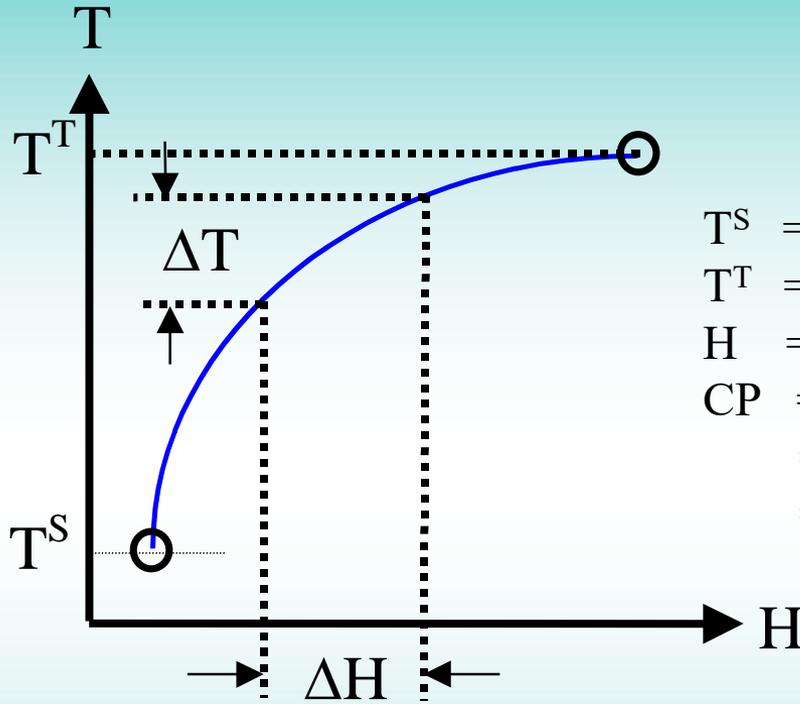
Compromiso Capital vs. Energía

- El diseño de una Red de Intercambio de Calor para el siguiente problema:
- Dado:
 - N_H corrientes calientes, flujo de calor, cada una que tiene que ser enfriada desde la temperatura del suministro T_H^S a la Temperatura deseada (target) T_H^T .
 - N_C corrientes frías, flujo de calor, cada una que tiene que ser calentado de la temperatura del suministro T_C^S a la temperatura deseada T_C^T .
- Diseñar:

Una red óptima de intercambiadores de calor, conectando entre los corrientes calientes y frías y entre las corrientes y servicios cold/hot (el horno, aceite caliente, vapor, agua de enfriamiento o refrigerante, que dependen de la temperatura requerida).
- ¿Cuál es óptimo?

Implica un compromiso entre los COSTOS de CAPITAL (Costo de equipo) y el COSTO de la ENERGÍA (Costo de utilidades).

Definiciones



T^S = Temperatura de la corriente de suministro ($^{\circ}\text{C}$)

T^T = Temperatura deseada ($^{\circ}\text{C}$)

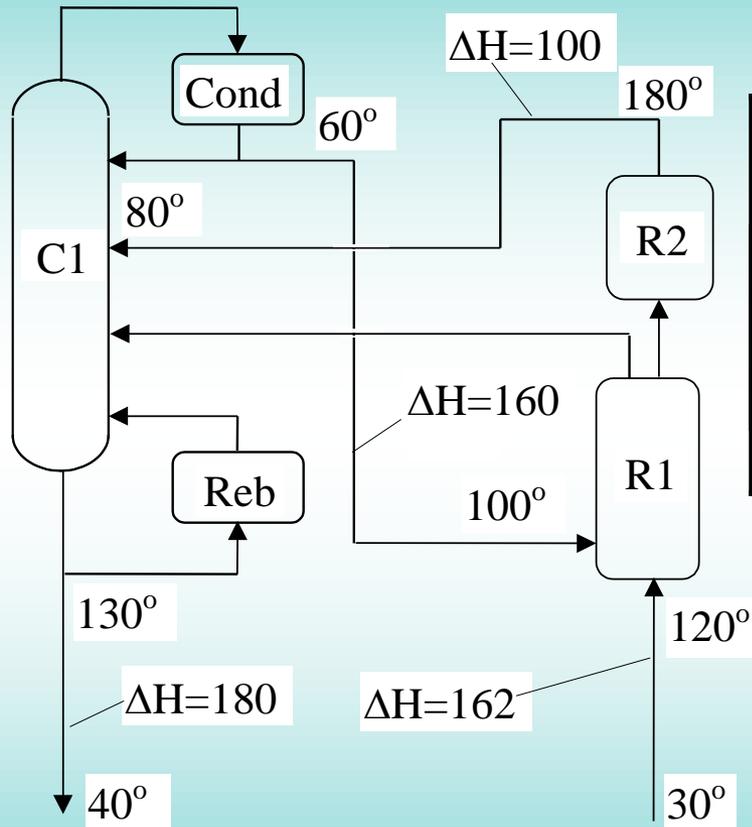
H = Entalpía de la corriente (MW)

$CP = \dot{m} \cdot C_p$ (MW/ $^{\circ}\text{C}$)

= Flujo de calor (MW/ $^{\circ}\text{C}$)

= Flujo másico \times calor específico

Ejemplo



$$\Delta T_{\min} = 10^\circ \text{C}$$

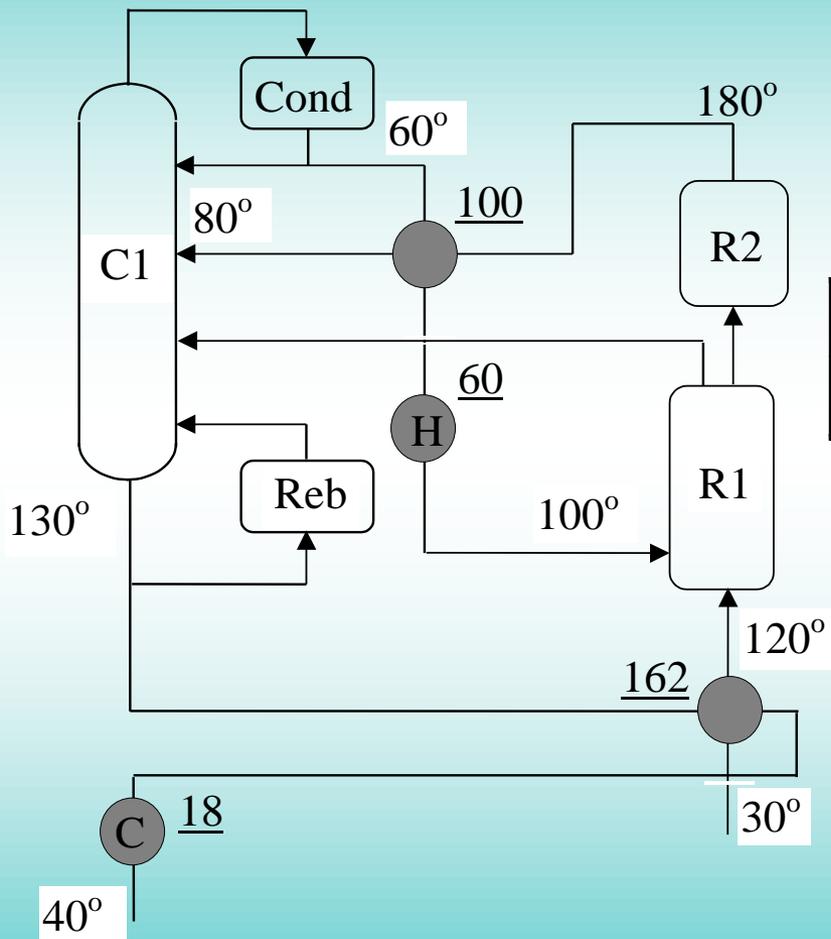
Stream	T^S ($^\circ\text{C}$)	T^T ($^\circ\text{C}$)	ΔH (kW)	CP (kW/ $^\circ\text{C}$)
H1	180	80	100	1.0
H2	130	40	180	2.0
C1	60	100	160	4.0
C2	30	120	162	1.8

Servicios:

vapor @ 150°C

CW @ 25°C

Requerimiento de energía

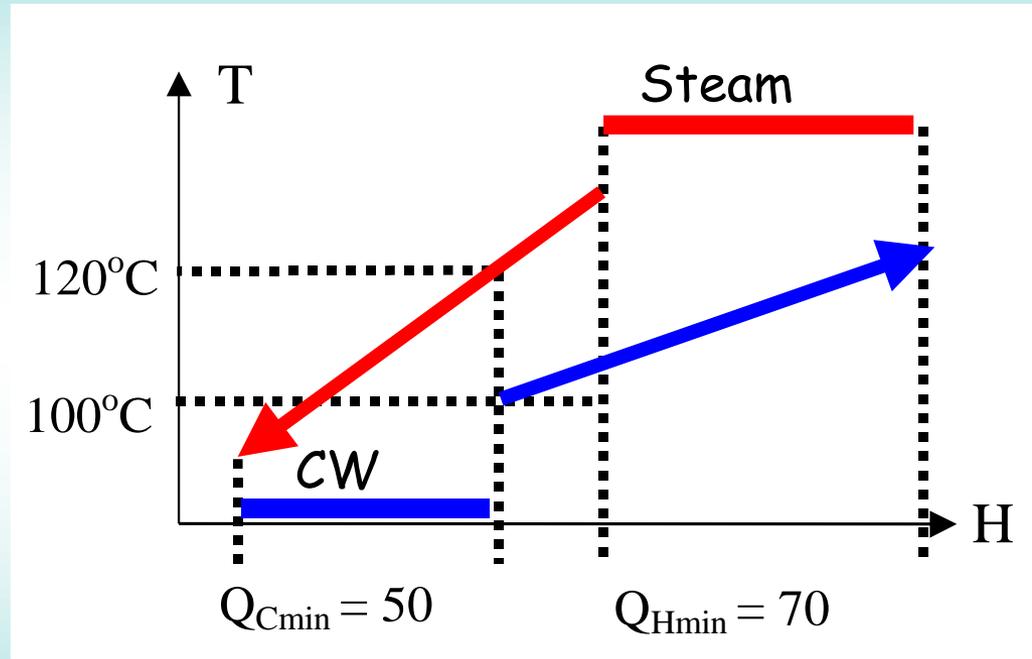
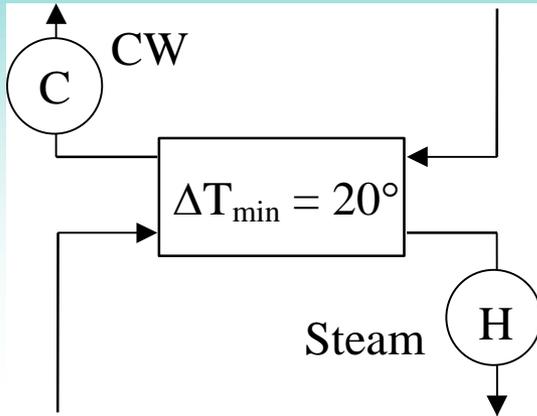


Resumen del diseño propuesto:

Vapor	CW	Unidades
60 kW	18 kW	4

¿Son necesarios 60 kW de vapor?

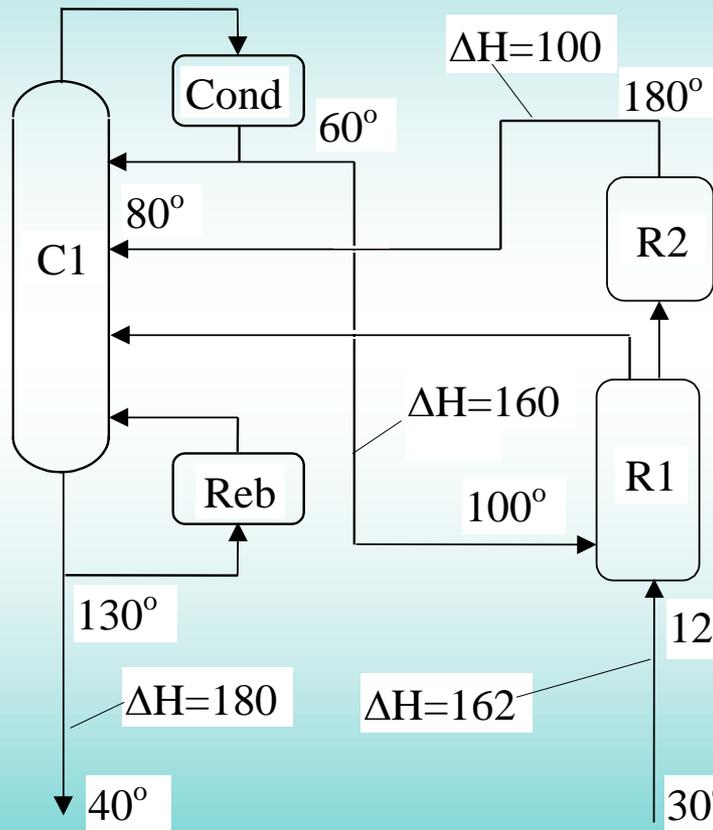
Diagrama Temperatura - Entalpía



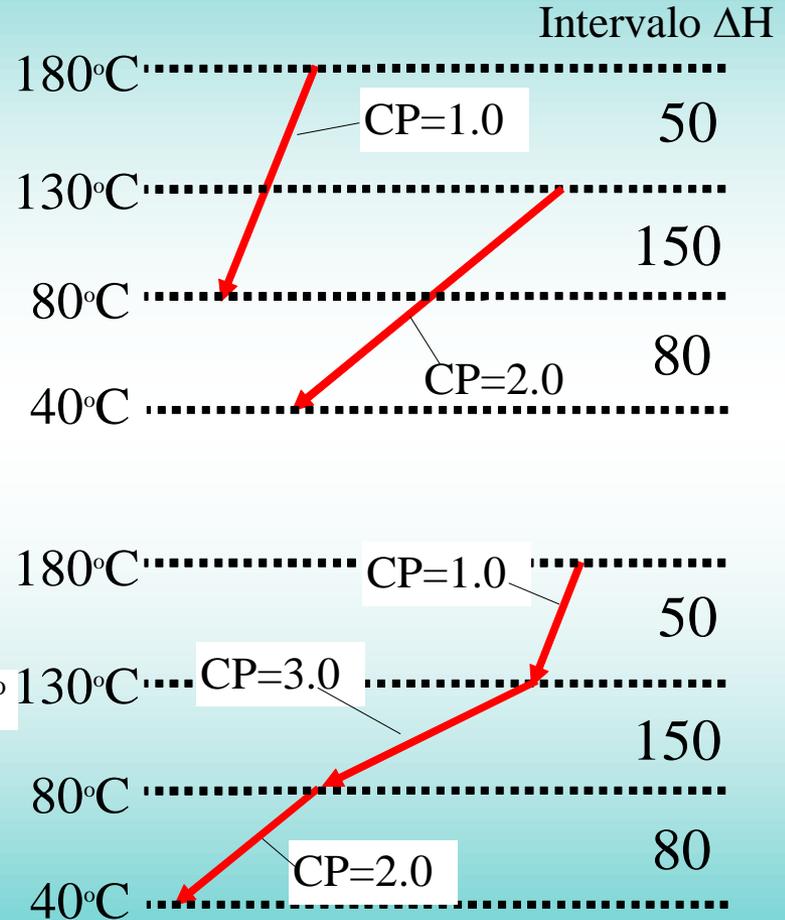
Correlación entre ΔT_{\min} , Q_{Hmin} y Q_{Cmin}

$$Q_{Hmin} + x \Rightarrow Q_{Cmin} + x$$

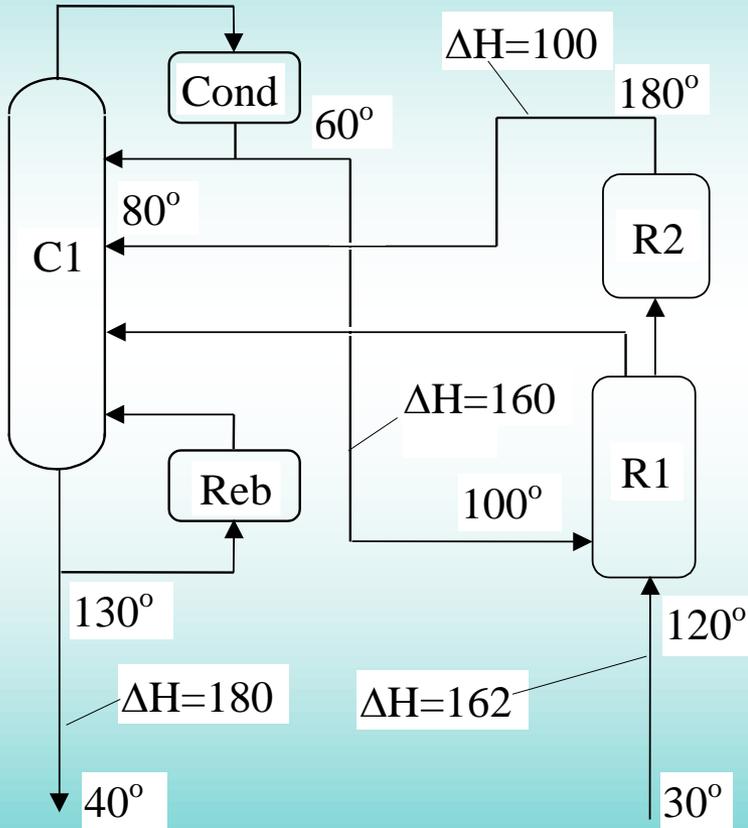
Curva compuesta



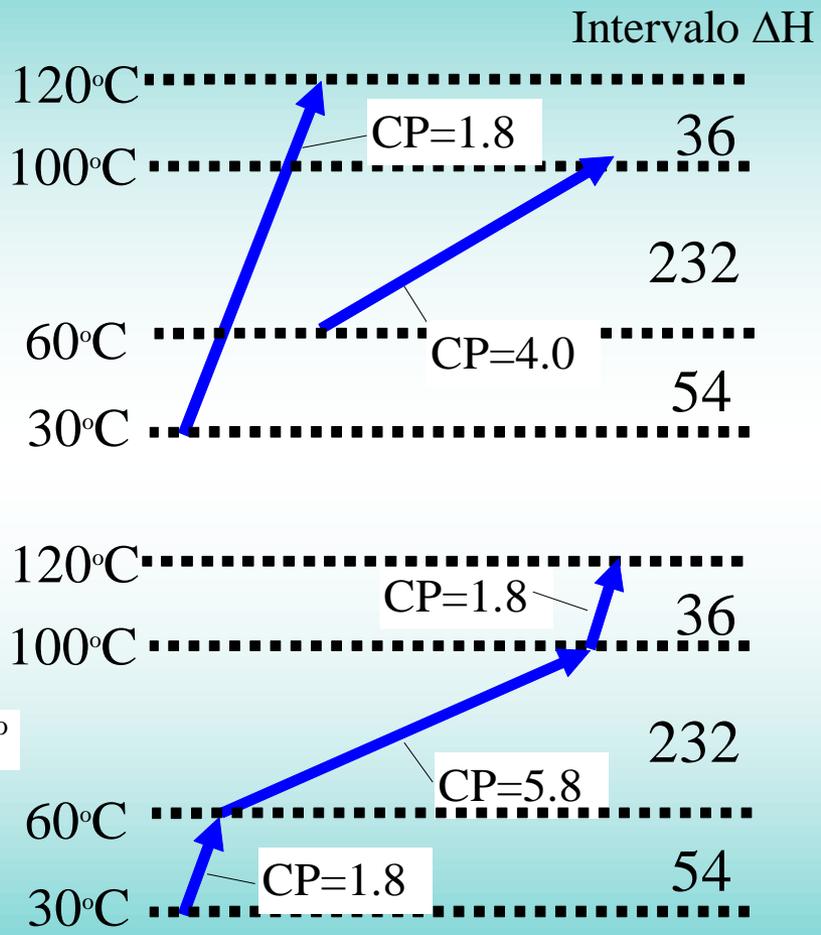
Curva compuesta caliente



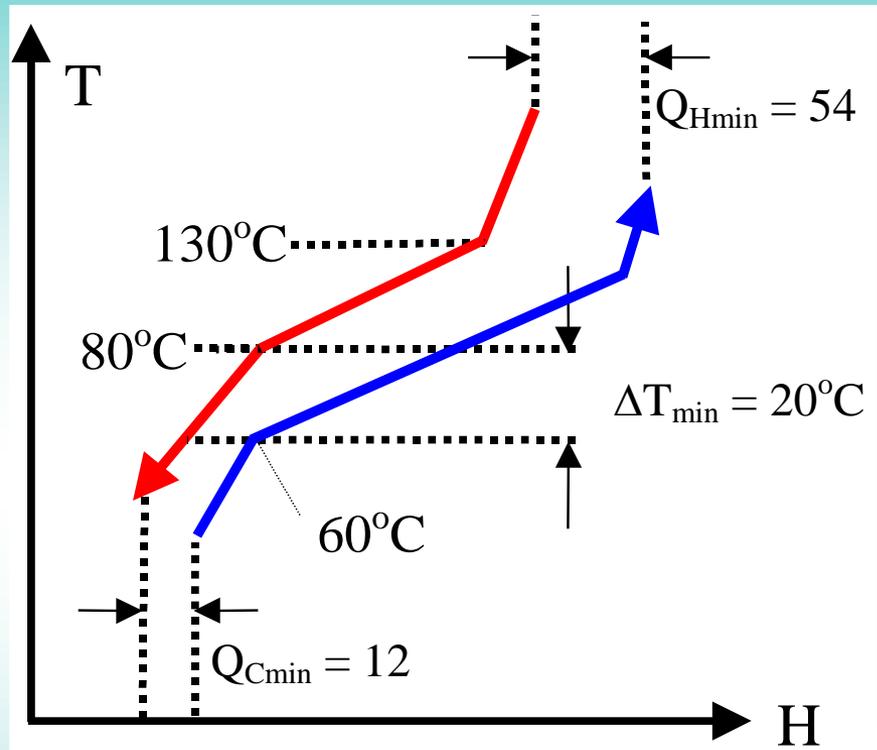
Curva compuesta



Curva compuesta fría



Curva compuesta



Resultado:

Q_{Cmin} y Q_{Hmin} para
 ΔT_{min} deseado

Meta para MER

Pinch para

Corriente caliente 70 °C,
Corriente fría 60 °C

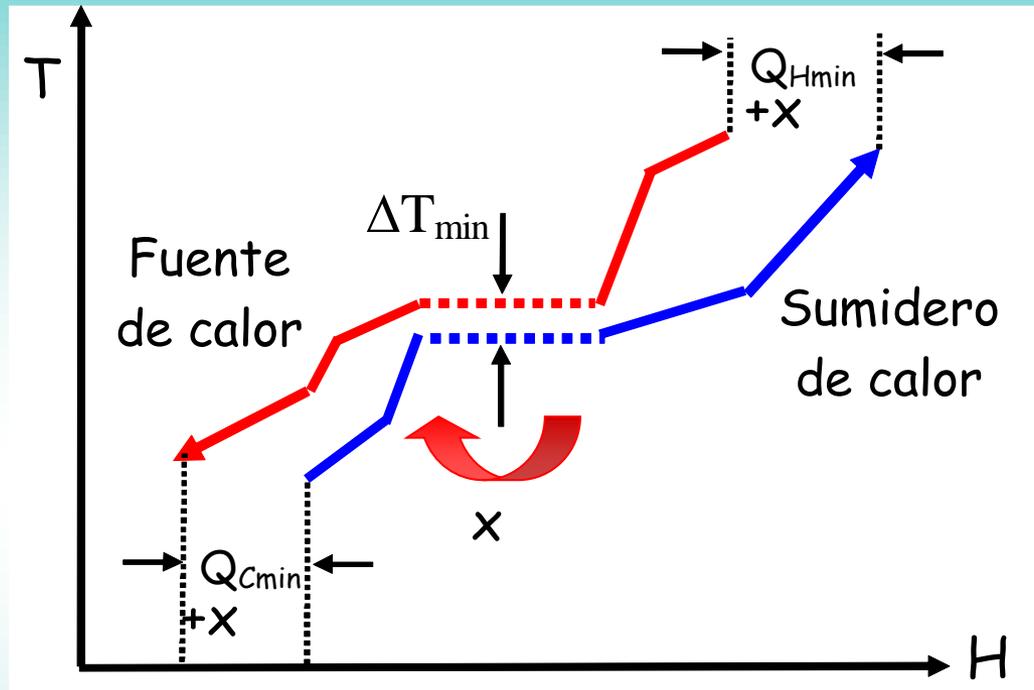
$Q_{Hmin} = 48$ kW

$Q_{Cmin} = 6$ kW

Método: manipular las curvas compuestas de las corrientes calientes y frías hasta satisfacer el ΔT_{min} requerido.

Luego quedan definidas las temperaturas de pinch para la corriente caliente y la corriente fría.

El Pinch

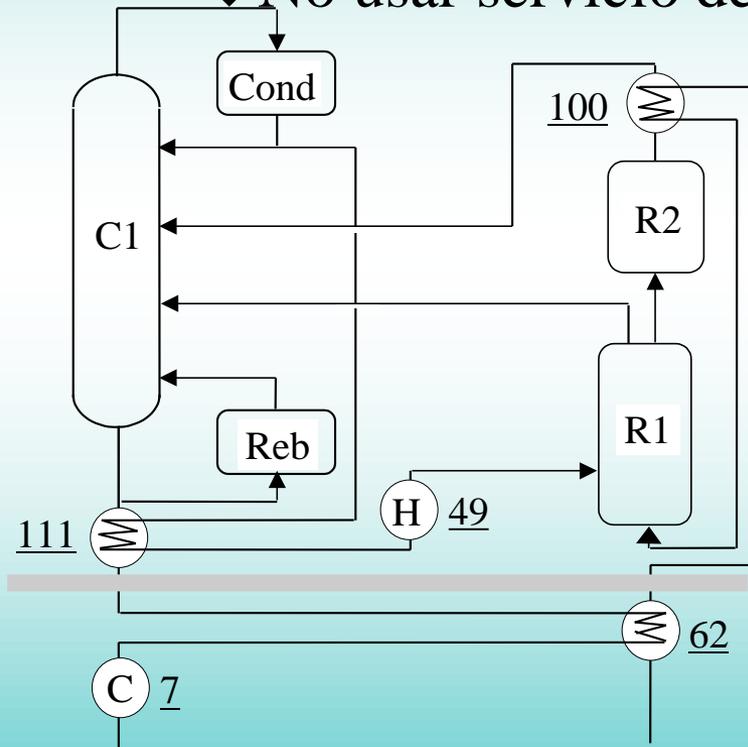


El "pinch" separa el problema de HEN en dos partes:

- Sumidero de calor – arriba del pinch, donde servicio de calefacción debe ser usado Q_{Hmin} .
- Fuente de calor – abajo del pinch, donde servicio de enfriamiento debe ser usado Q_{Cmin} .

El Pinch

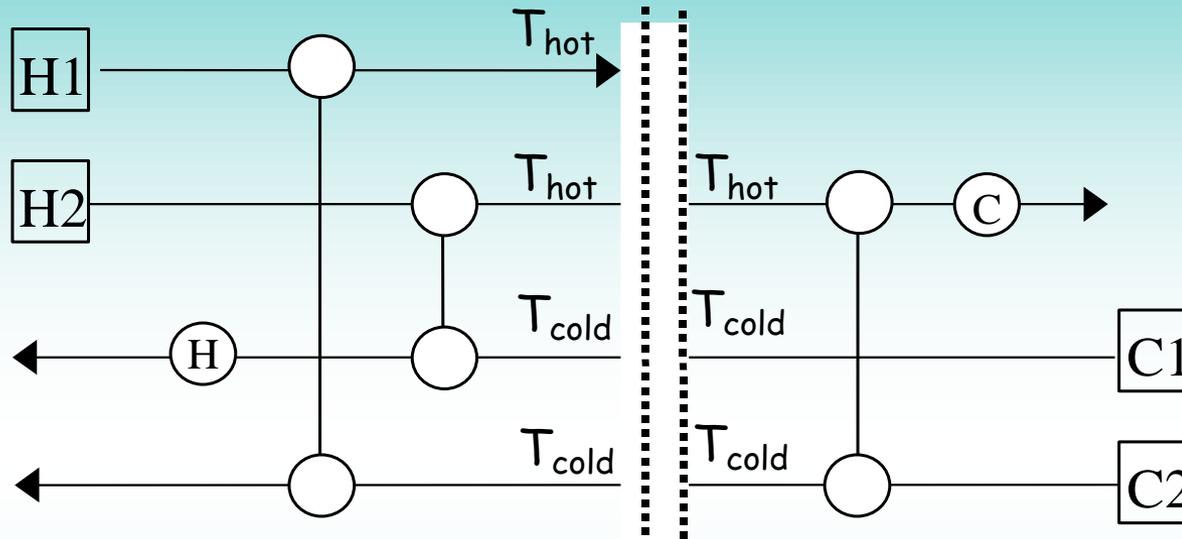
- ❖ No transferir calor a través del pinch
- ❖ No usar servicio de enfriamiento arriba del pinch.
- ❖ No usar servicio de calefacción debajo del pinch.



Resumen del diseño modificado:

Corriente	CW	Unidades
~49 kW	~7 kW	5

Representación de la *HEN* con el *Pinch*



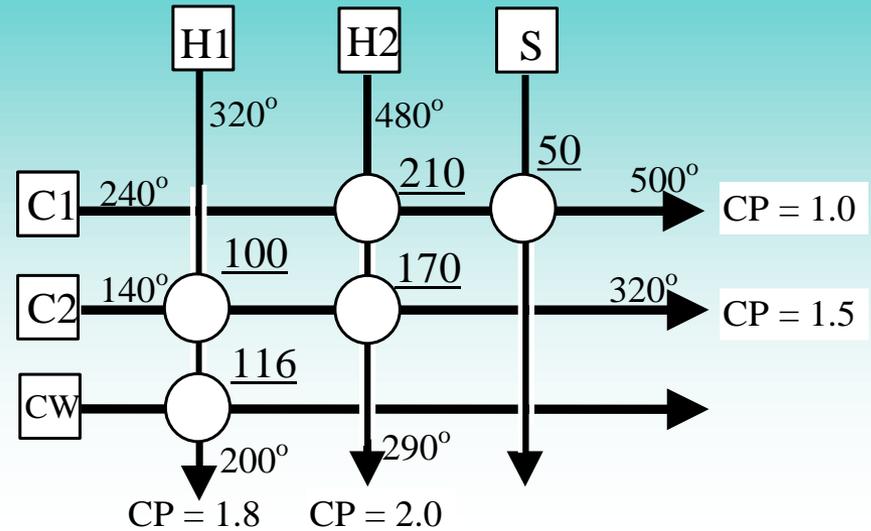
El *pinch* divide la HEN en dos partes:

- ⇒ Lado izquierdo (arriba del pinch)
- ⇒ Lado derecho (abajo del pinch)

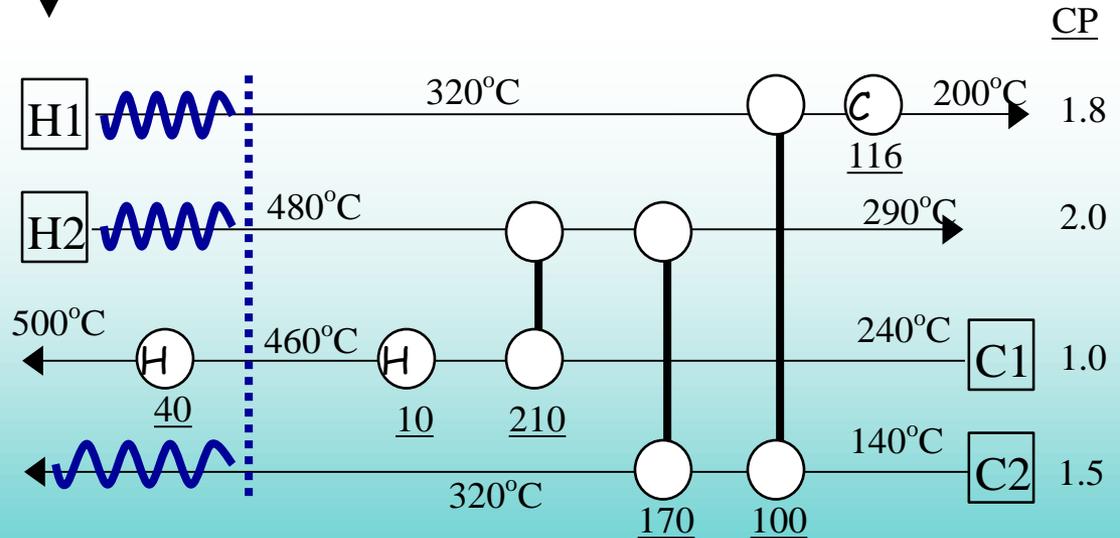
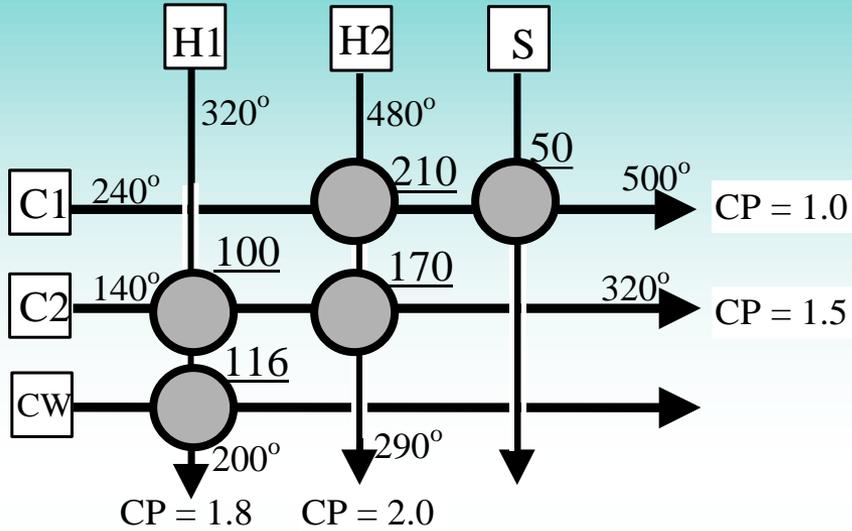
En el pinch, todas las corrientes calientes son más calientes que las corrientes frías en ΔT_{min} .

Ejemplo 2

- Para esta red, dibujar el diagrama grilla.
- Dadas las temperaturas de *pinch* de 480 °C /460 °C, y las metas de energía para la MER: $Q_{Hmin} = 40$, $Q_{Cmin} = 106$, redibujar la red separando por arriba y debajo del pinch.
- ¿Por qué $Q_H > Q_{Hmin}$?

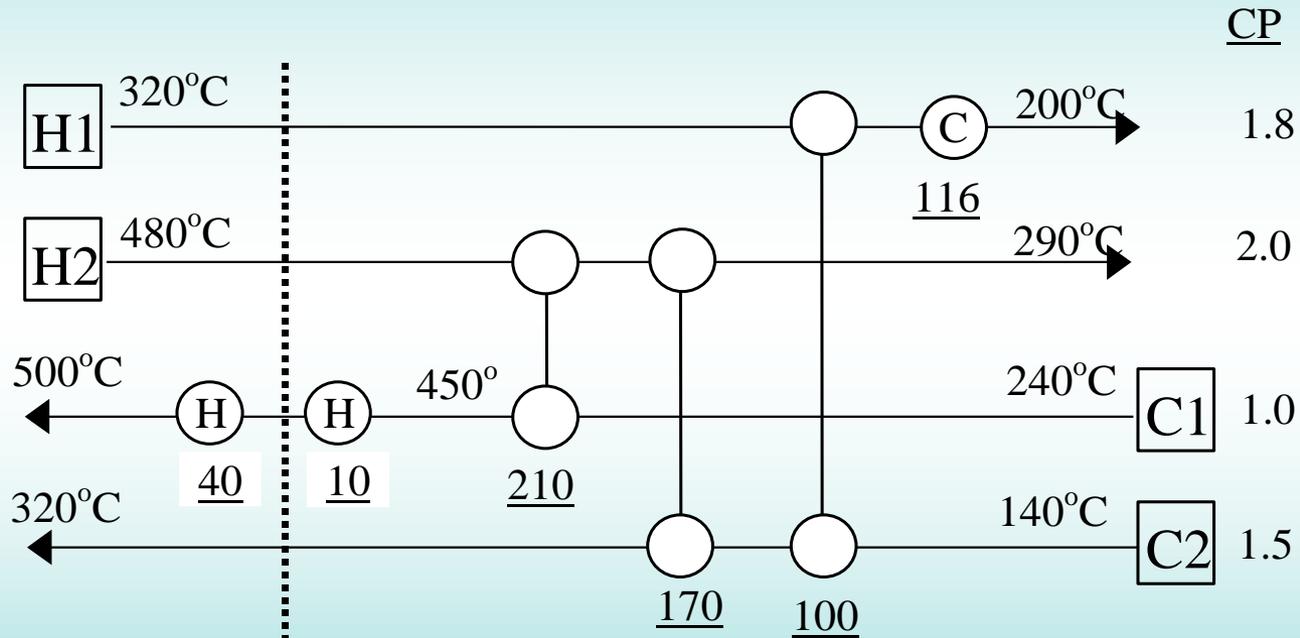


Ejemplo 2 - Solución



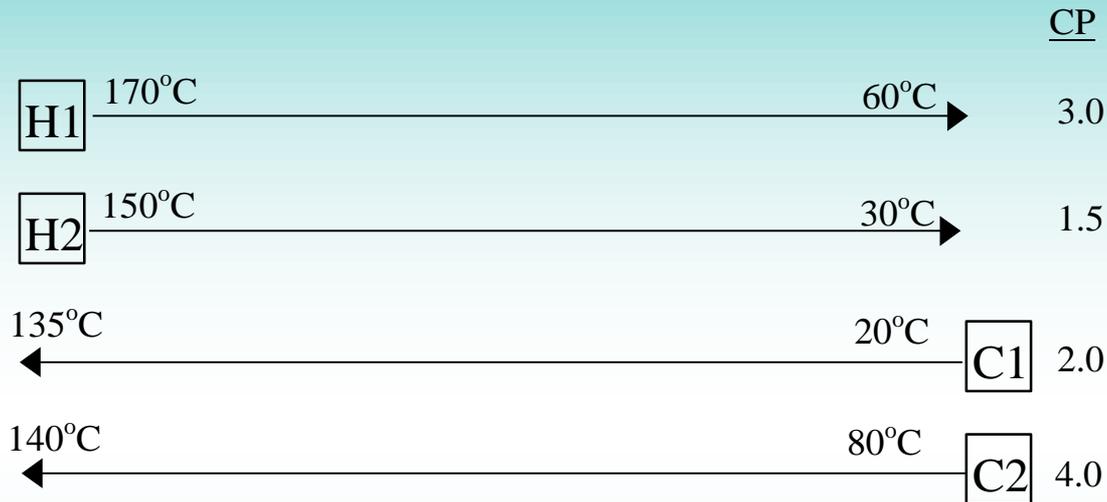
Ejemplo 2 - Solución

Esto puede arreglarse reduciendo la carga del enfriador en 10 unidades, y puede eliminar las unidades 10 excedentes de calefacción debajo del pinch.



Diseño para la máxima recuperación de energía (MER)

Ejemplo



Paso 1: Meta para la MER.

Pinch a 90 °C (Hot) y 80 °C (Cold)

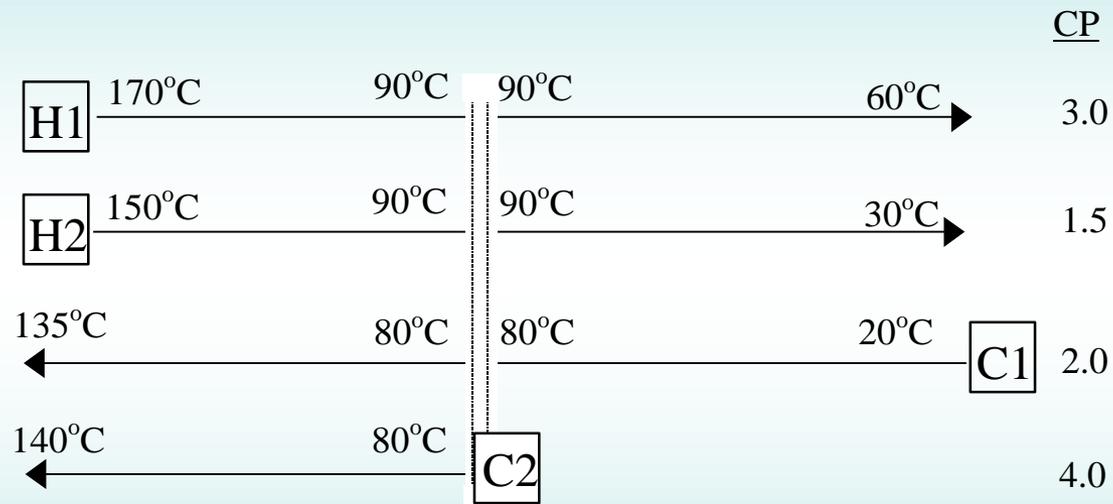
Metas de Energía:

Total de servicio de calefacción: 20 kW

Total de servicio de enfriamiento: 60 kW

Diseño para la MER

Paso 2: Dividir el problema en el pinch

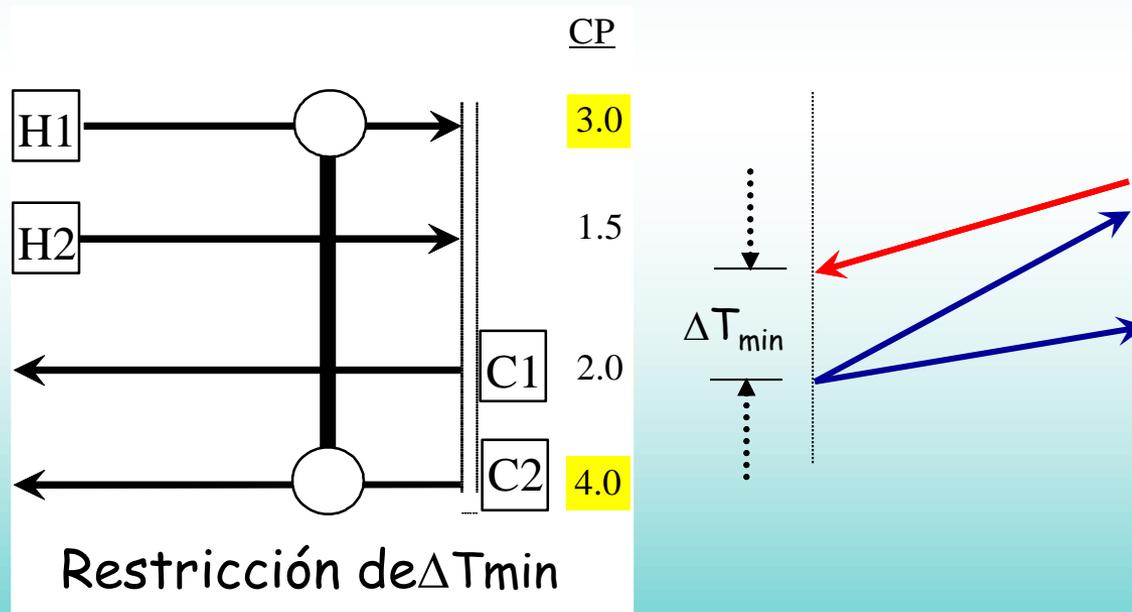


Diseño para la MER

Paso 3: Diseño por arriba del pinch, comenzando desde el pinch:
Ubicar intercambiadores de acuerdo a las restricciones de CP.
Inmediatamente arriba del , ubicar los match tal que:

$$CP_{HOT} \leq CP_{COLD}$$

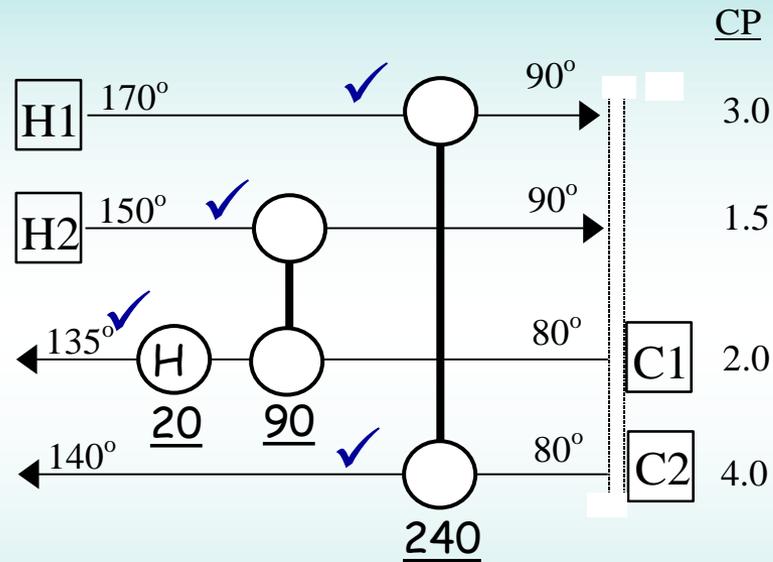
(Esto asegura que $T_H - T_C \geq \Delta T_{min}$)



Diseño para la MER

Paso 3 (Continuación): Completar el diseño por arriba del pinch.

$$Q_{Hmin} = 20 \text{ kW} \checkmark$$



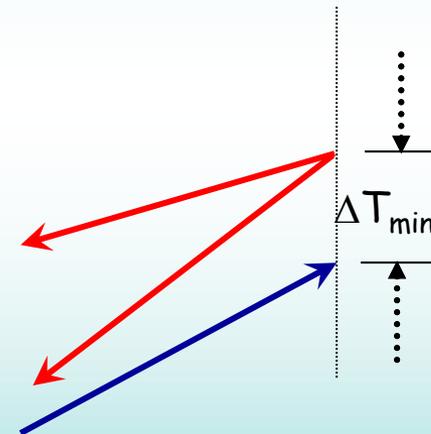
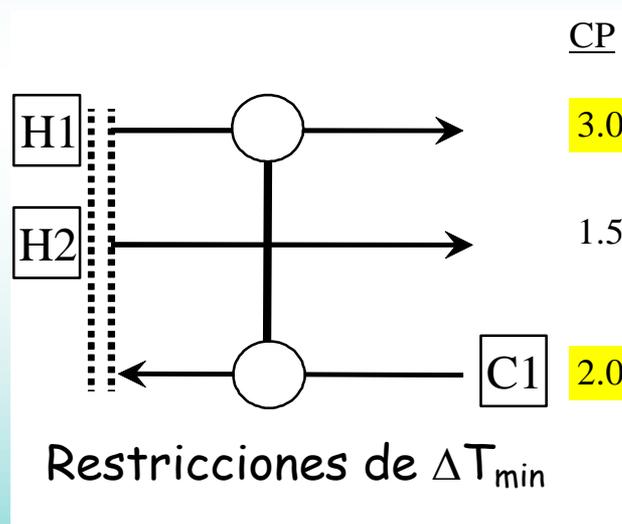
Agregar servicio de calefacción necesario (\Rightarrow MER)

Diseño para la MER

Paso 4: Diseño por debajo del pinch, comenzando en el pinch:
Ubicar los intercambiadores de acuerdo a las restricciones de CP.
Inmediatamente abajo del pinch, ubicar los match tal que:

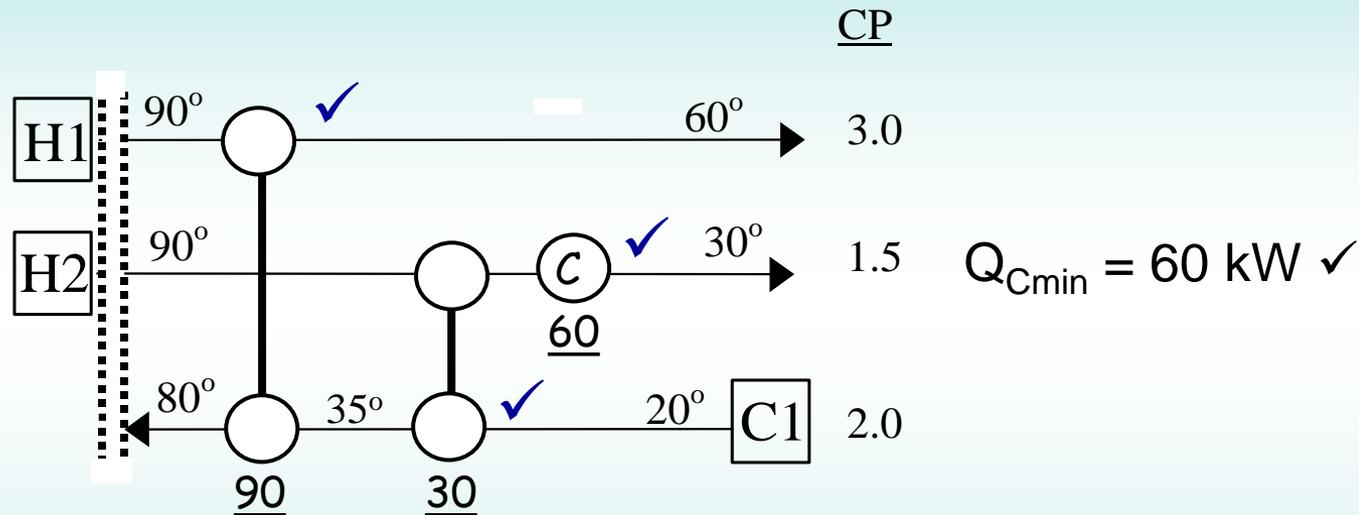
$$CP_{HOT} \geq CP_{COLD}$$

(Esto asegura que $T_H - T_C \geq \Delta T_{min}$)



Diseño para la MER

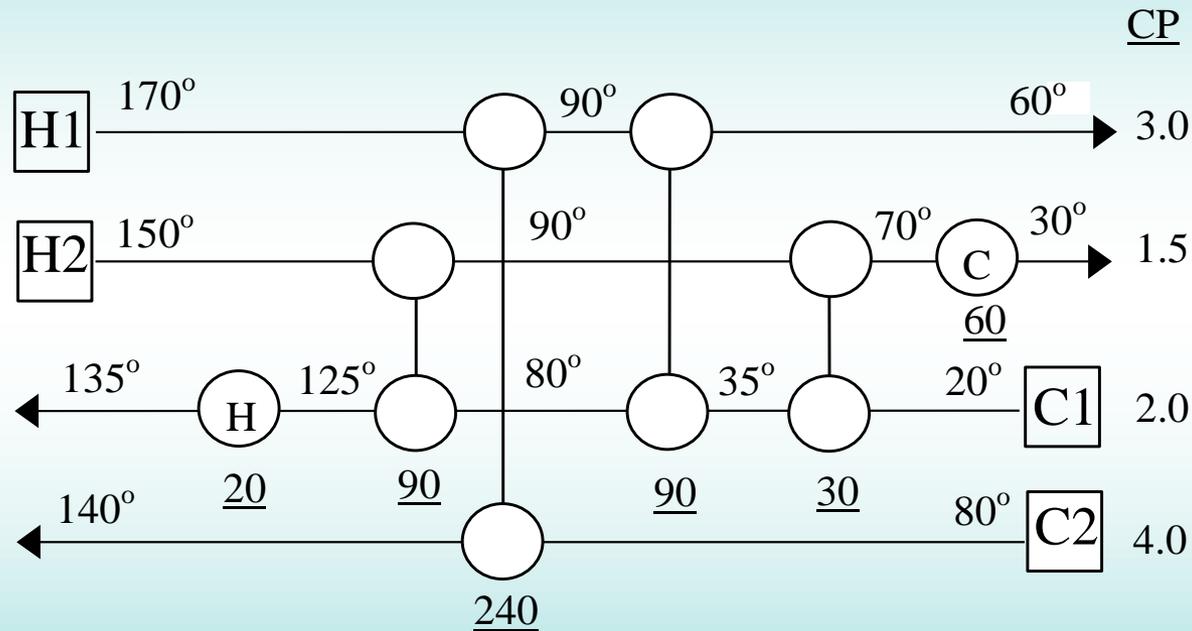
Paso 4 (Continuación): Completar el diseño por abajo del pinch.



Agregar los servicios de enfriamiento necesarios(\Rightarrow MER)

Diseño para la MER

Diseño completo:



Observar que este diseño cumple con las metas de la MER:

$$Q_{Hmin} = 20 \text{ kW y } Q_{Cmin} = 60 \text{ kW}$$

Ejemplo 3

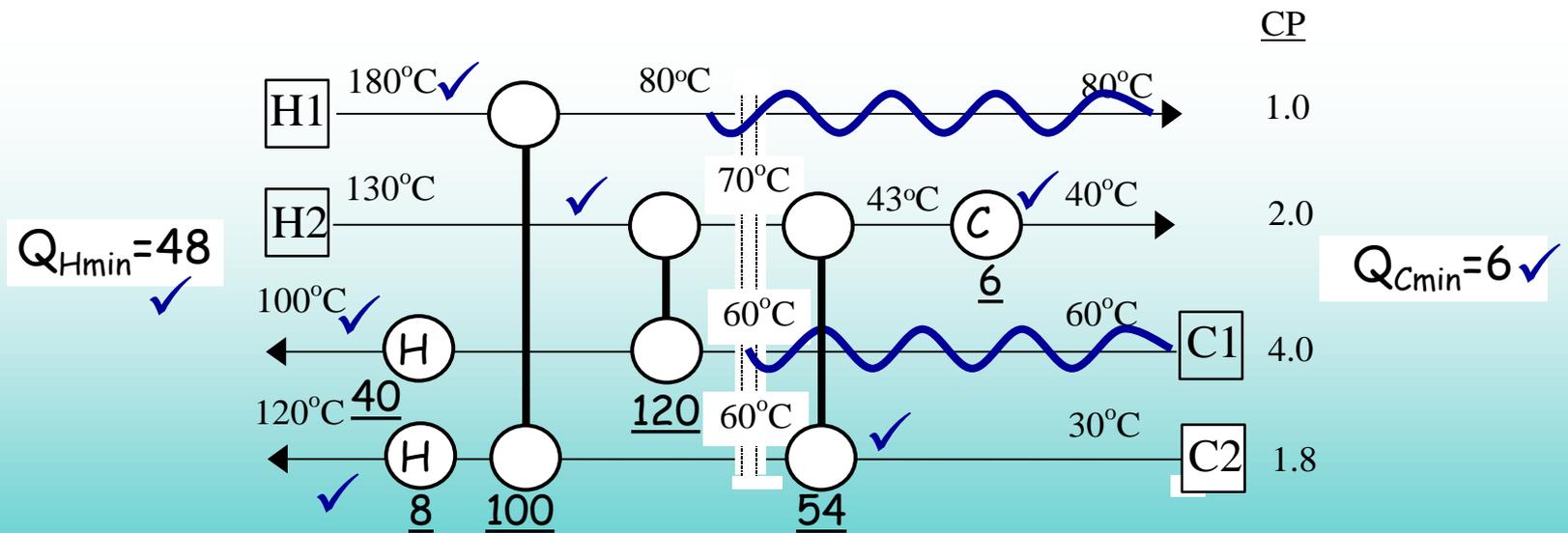
Stream	T^S (°C)	T^T (°C)	ΔH (kW)	CP (kW/°C)
H1	180	80	100	1.0
H2	130	40	180	2.0
C1	60	100	160	4.0
C2	30	120	162	1.8

$\Delta T_{min} = 10 \text{ } ^\circ\text{C}.$

Servicios:

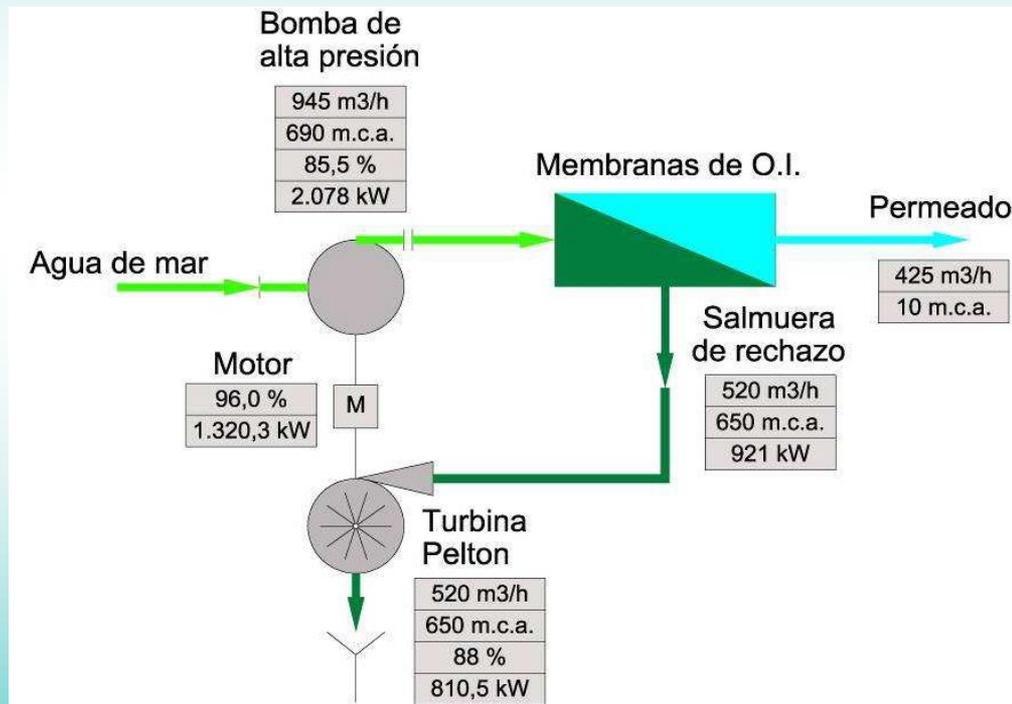
Vapor @150 °C, CW@25°C

Diseño de una red de intercambio de calor.

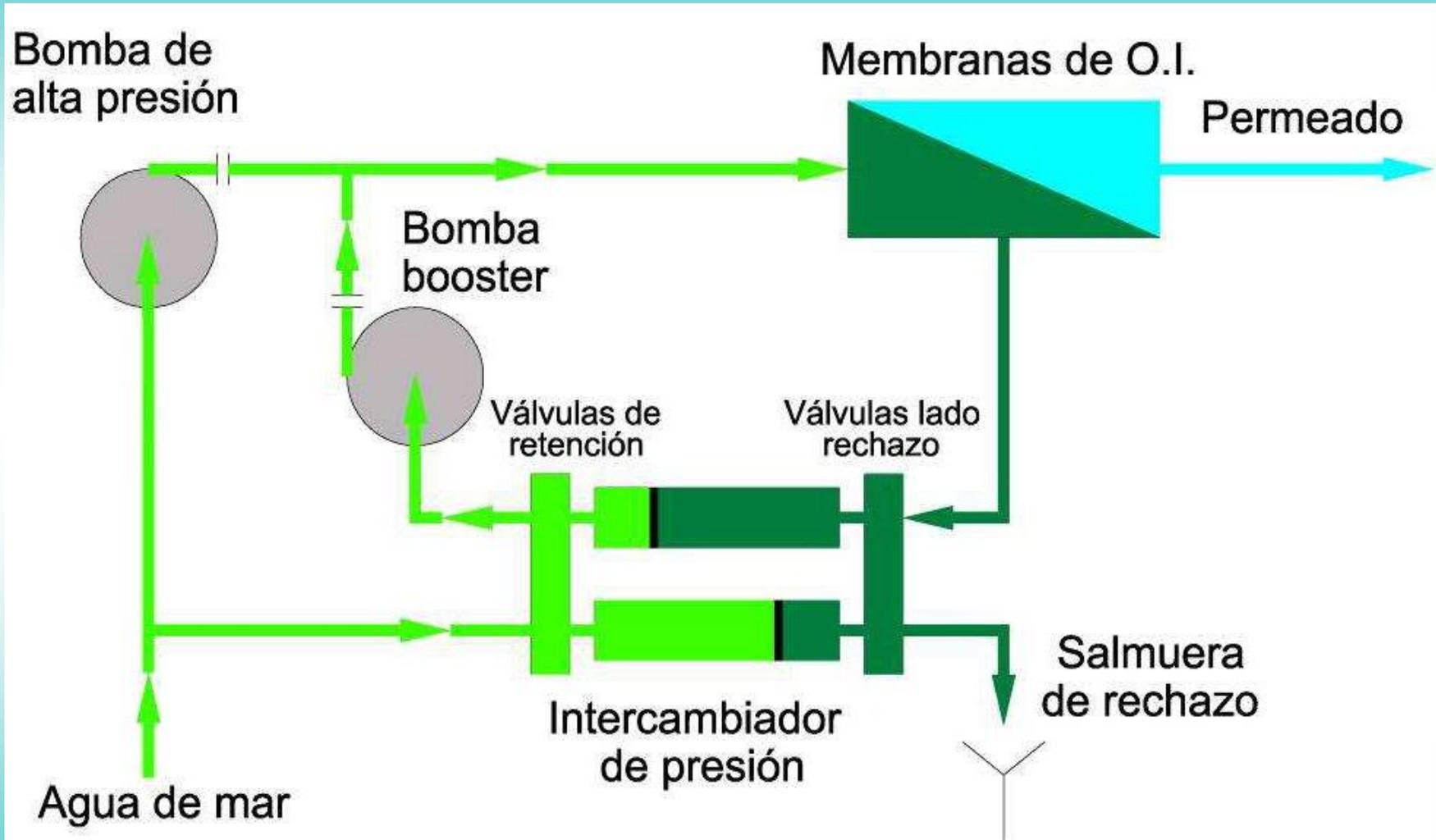


Intercambiador de presión

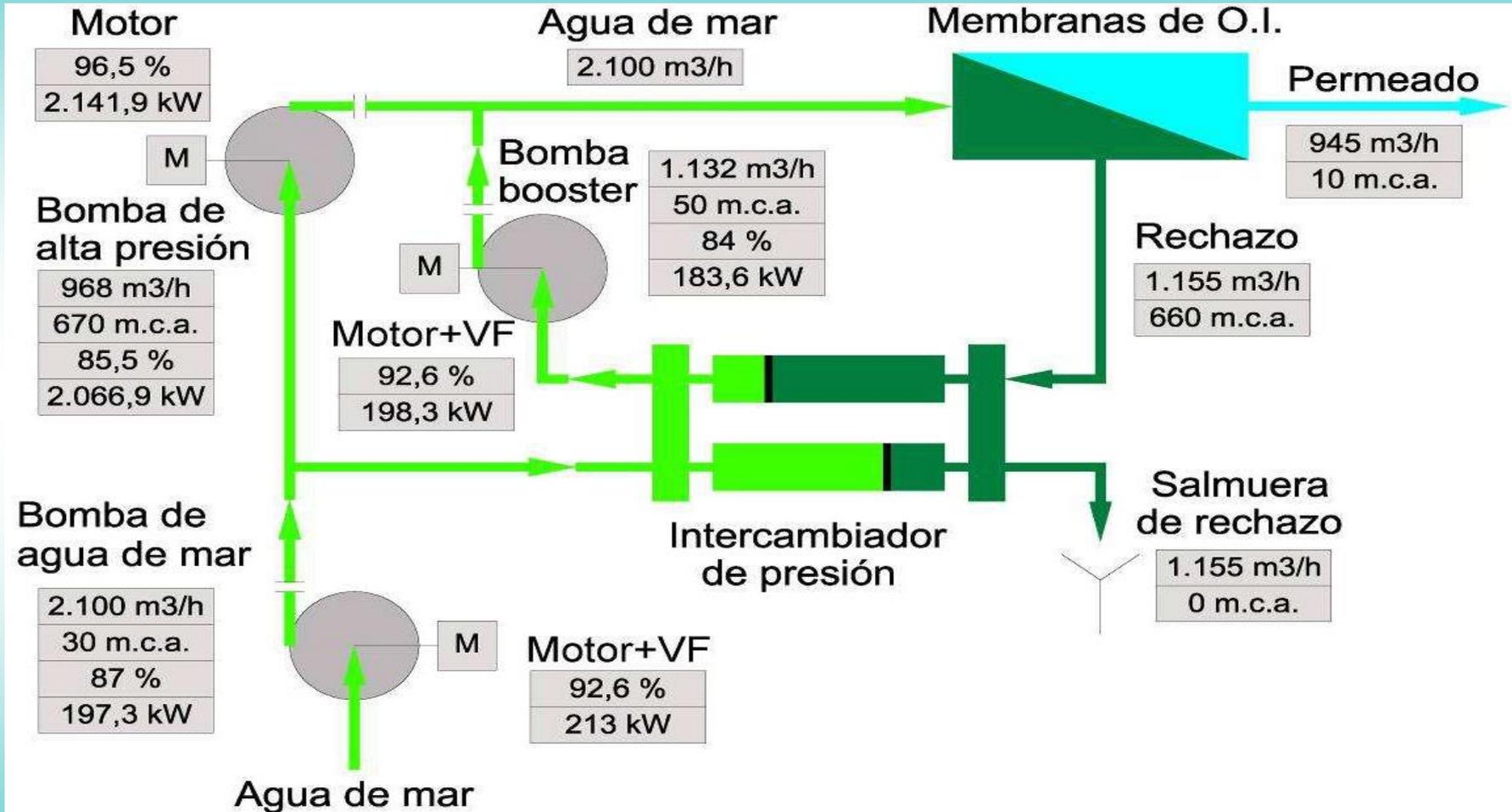
Los intercambiadores de presión, conocidos en inglés por las siglas WEER (Work Exchanger Energy Recovery), y que podrían trasladarse al español con las siglas SIPRE (Sistemas intercambiadores de presión para la recuperación de energía), son dispositivos que transfieren directamente la alta presión de la salmuera de rechazo al agua de mar sin convertirla previamente en energía mecánica de rotación.



Intercambiador de presión



Intercambiador de presión



Conclusión

- Se realiza el diseño por metas para la MER.
- Se utilizan las CC y GCC para una diferencia mínima de temperatura.
- Se diseña una red de intercambio de calor (HEN) para la máxima recuperación de energía (MER).
- Se diseña una red de intercambio de calor (HEN) para el mínimo número de unidades de transferencia de calor.
- Se diseñar una red de intercambio de calor (HEN) para la mínima área de transferencia de calor.
- Se aplicar la metodología a transferencia de masa y redes de intercambio de presión.
- Se diseña de proceso con eficiencia energética y controlabilidad.