



Universidad Simón Bolívar
Problemas de Ingeniería Química TF-2314
Dpto. de Termodinámica y Fenómenos de Transporte



Optimización energética

Dirigido por:
Prof. Rainier Maldonado

Comisiones #4, 5 y 6:

- Belen Castro
- Leonardo Niño
- Oriana Ruiz
- Débora Pascual
- Karla Dominguez
- Jessica Peña

Sartenejas, 06 de junio de 2016

OBJETIVO

1

Presentar el gasto energético que representan los equipos que intercambian calor en la planta de reformación de Nafta pesada y proponer una posible optimización energética por medio del análisis Pinch.

INTRODUCCIÓN

El análisis Pinch es una herramienta para la optimización de redes de transferencia de calor y masa, basada en la aplicación de la primera y la segunda ley de la termodinámica, para introducir la filosofía de la integración de los procesos de transferencia.

Puede ser:

- **Térmico**



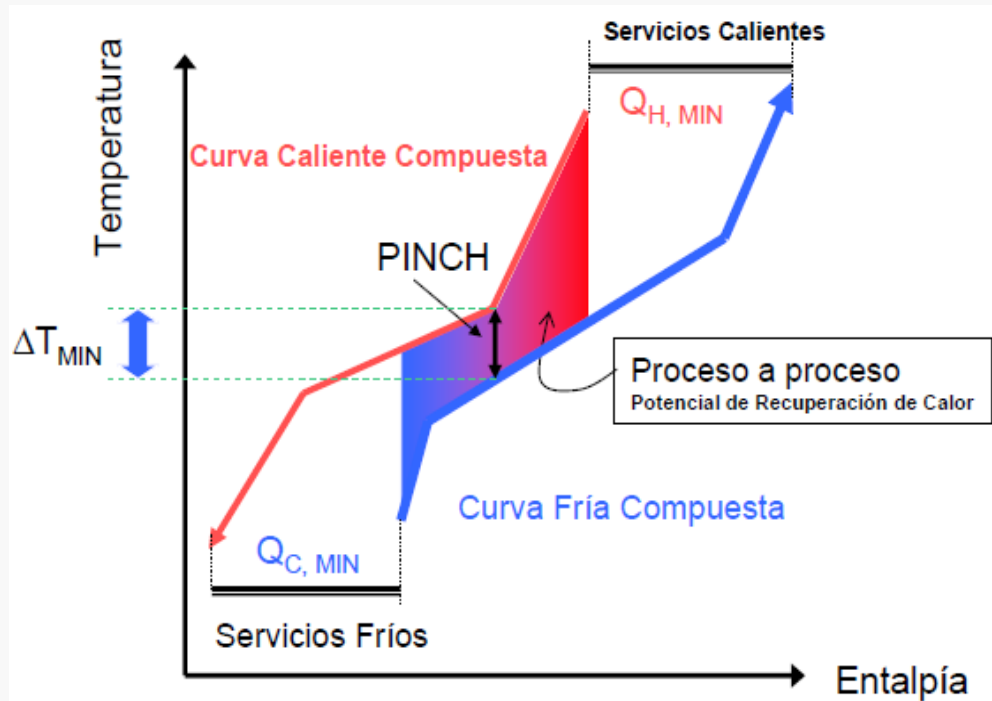
Busca minimizar el requerimiento energético de una planta de procesos mediante la organización del sistema en una red, donde la energía disponible es aprovechada de manera que las corrientes calientes y las corrientes frías de los equipos que intercambian calor alcancen el máximo aprovechamiento energético.

- **Másico**

CURVA COMPUESTA COMBINADA

3

Consiste en un perfil de temperatura vs. entalpía tanto para las corrientes frías como para las corrientes calientes de los equipos que intercambian calor.



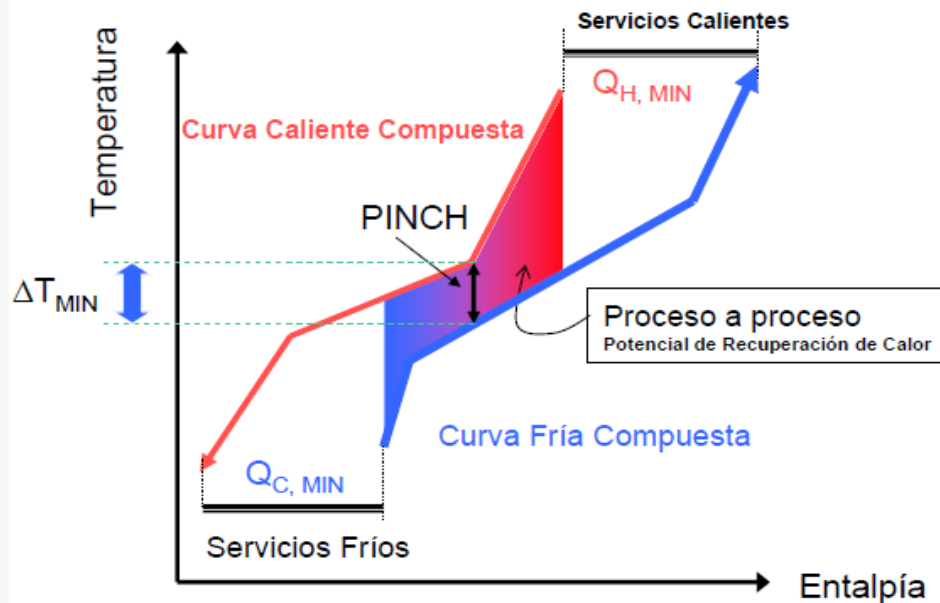
Para que exista intercambio de calor de la corriente caliente a la fría, la curva de enfriamiento de la corriente caliente debe quedar por encima de la curva de calentamiento de la corriente fría.

Figura 1. Ejemplo de curvas compuestas combinadas

PUNTO PINCH

4

De la curva compuesta combinada se puede obtener el punto de mínima diferencia de temperatura (ΔT_{\min}) entre la curva caliente y la fría, siendo la mínima diferencia vertical entre estas curvas. A este punto se le conoce como punto Pinch y determina qué tan cerca pueden estar ambas curvas sin violar la segunda ley de la termodinámica. (No pueden presentarse cruces de temperaturas)



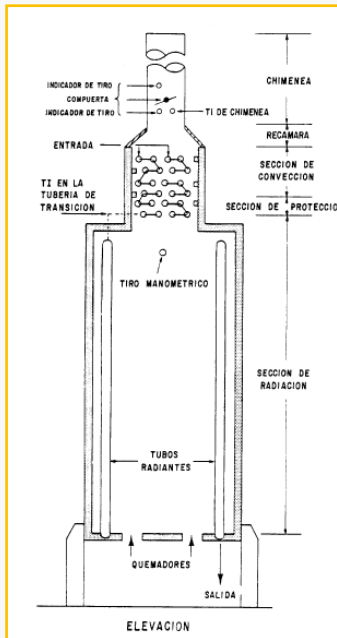
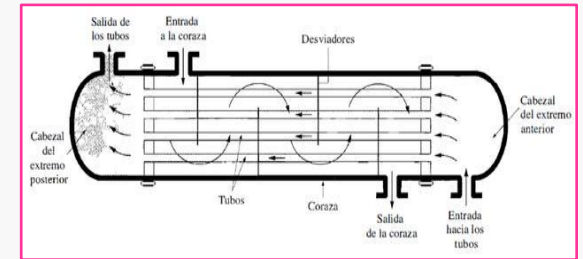
El exceso en el final de la curva caliente y el final de la curva fría indica los requerimientos mínimos de servicios calientes ($Q_{h, \min}$) y de servicios fríos ($Q_{c, \min}$) del proceso para el Δt_{\min} escogido.

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

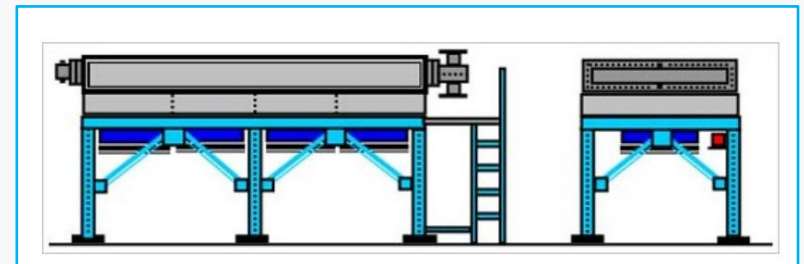
PROCEDIMIENTO PARA CURVAS COMPUESTAS COMBINADAS

5

- 1) Se identifican las corrientes que intercambian calor.
- 2) Se dividen las corrientes en fuentes y sumideros.



- **Fuente o corriente caliente:** es una corriente que tiene el calor disponible para ser recuperado, o que debe ser enfriada para satisfacer necesidades del proceso.
- **Sumidero o corriente fría :** es una corriente que debe ser calentada.



PROCEDIMIENTO PARA CURVAS COMPUESTAS COMBINADAS

6

3) Obtención de la curva compuesta caliente.

3.1) Se grafican las corrientes calientes trazadas separadamente sobre un diagrama flujo de calor vs. Temperatura

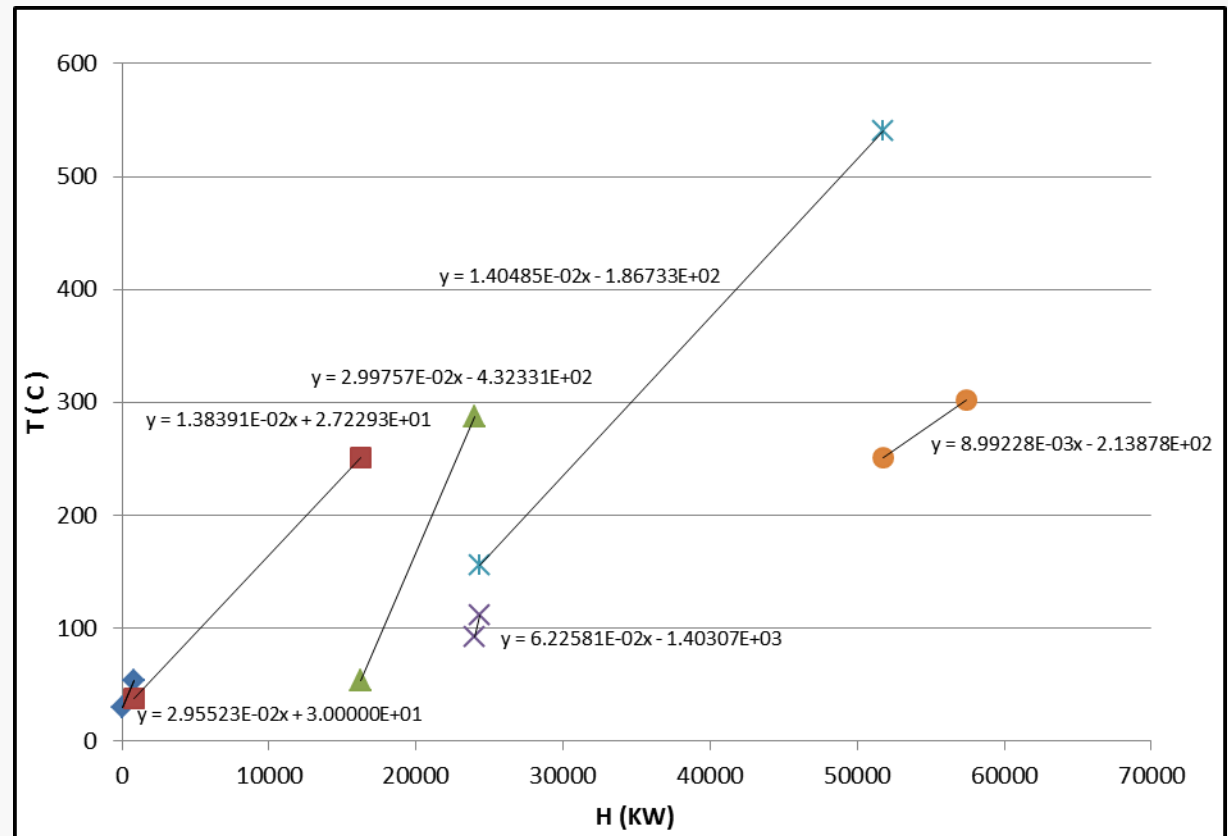


Figura 2. Curvas separadas calientes.

PROCEDIMIENTO PARA CURVAS COMPUESTAS COMBINADAS

7

3.2) Se construye la curva compuesta caliente sumando las contribuciones individuales del flujo de calor en cada corriente en cada intervalo de temperatura, donde **cada cambio en la pendiente representa un cambio global en la velocidad de flujo de la capacidad calorífica (C_p) de la corriente caliente.**

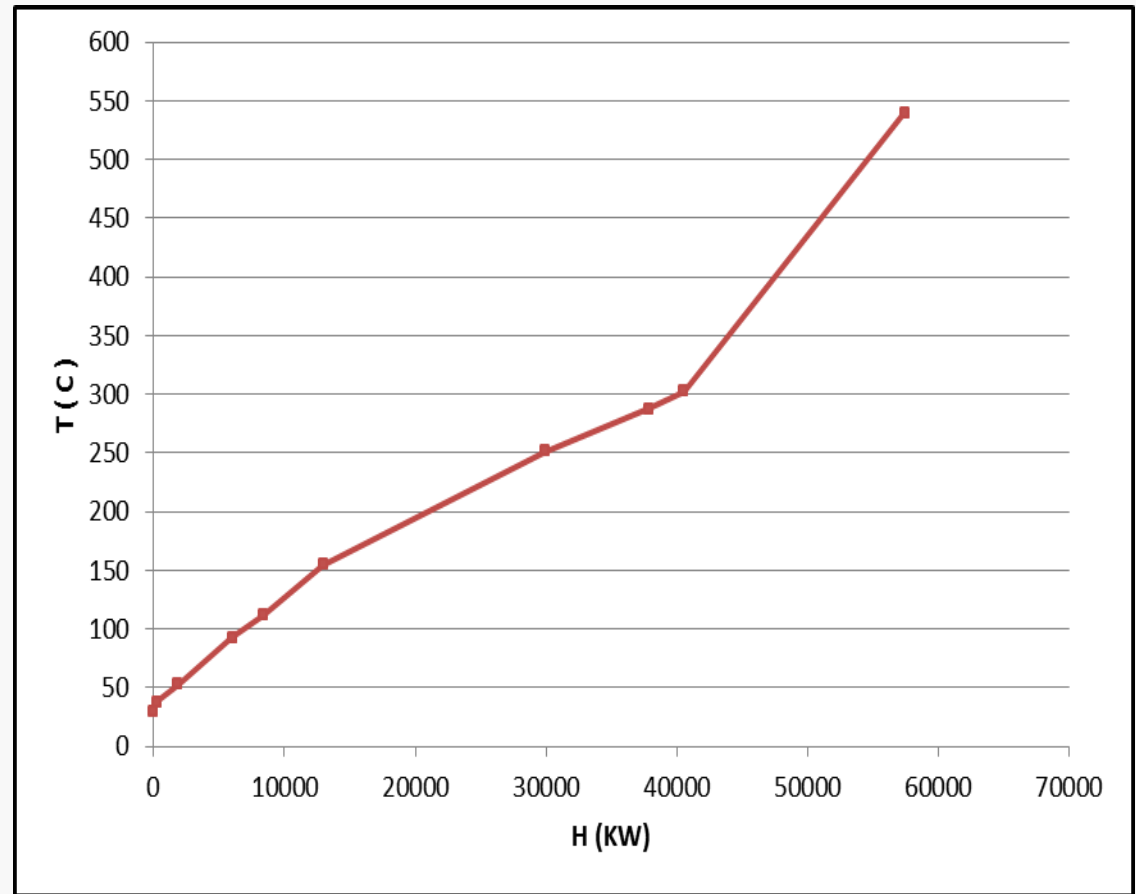


Figura 3. Curva combinada caliente.

PROCEDIMIENTO PARA CURVAS COMPUESTAS COMBINADAS

8

4) Obtención de la curva compuesta fría.

4.1) Se grafican las corrientes frías trazadas separadamente sobre un diagrama flujo de calor vs. Temperatura.

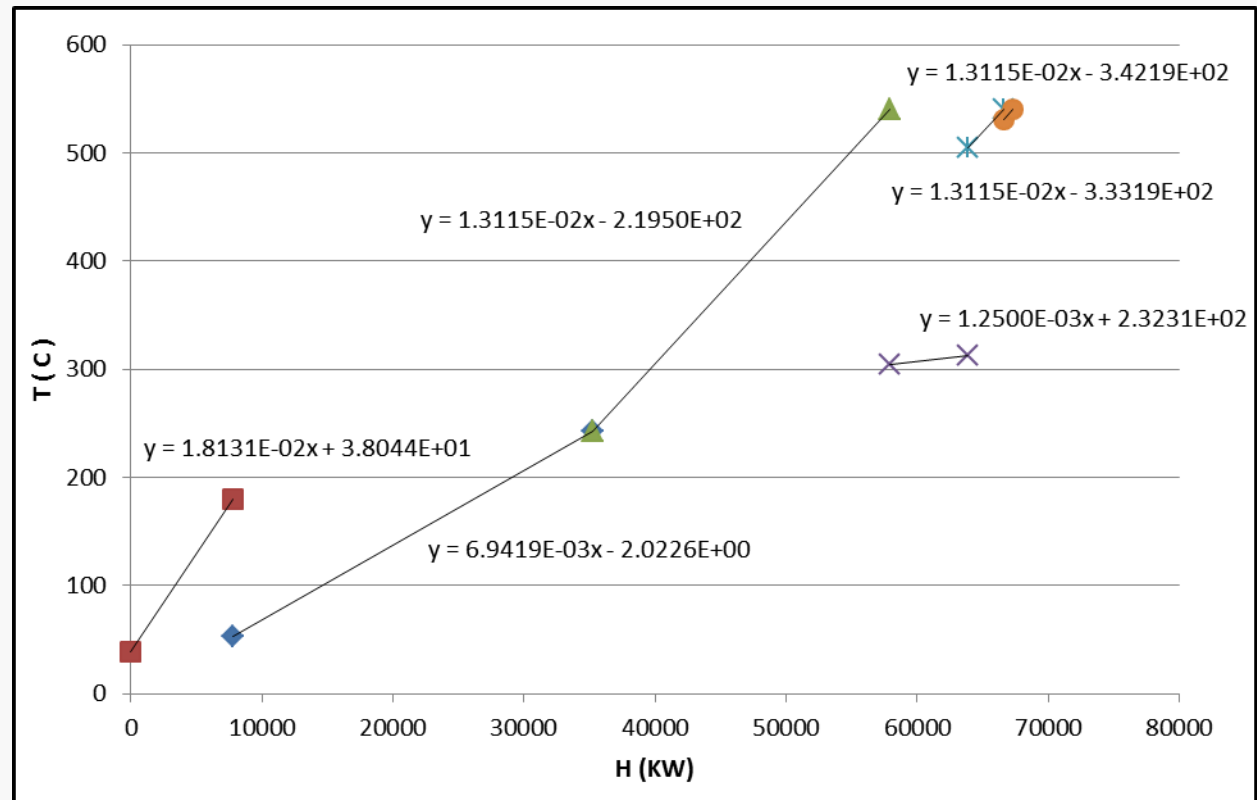


Figura 4. Curvas separadas calientes.

PROCEDIMIENTO PARA CURVAS COMPUESTAS COMBINADAS

4.2) Se construye la curva compuesta fría sumando las contribuciones individuales del flujo de calor en cada corriente en cada intervalo de temperatura, donde **cada cambio en la pendiente representa un cambio global en la velocidad de flujo de la capacidad calorífica (C_p) de la corriente caliente.**

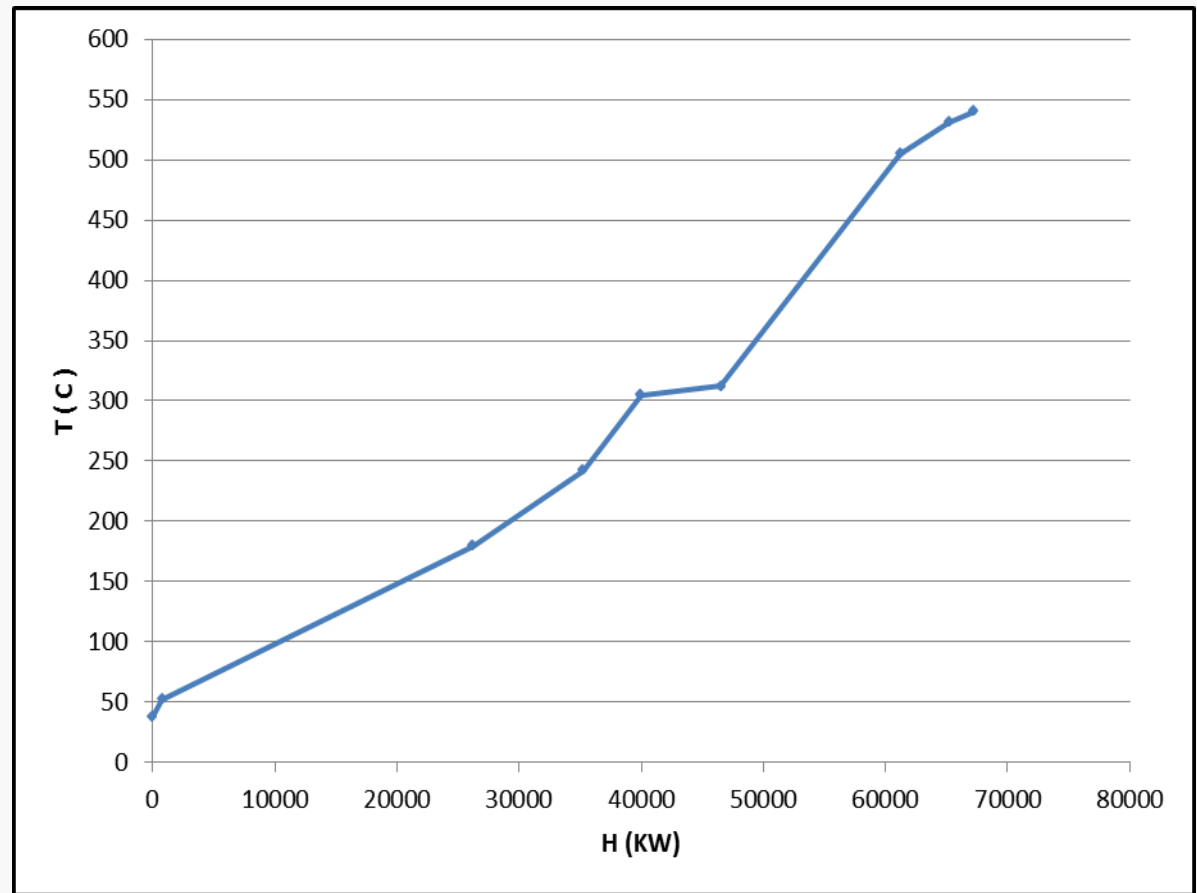
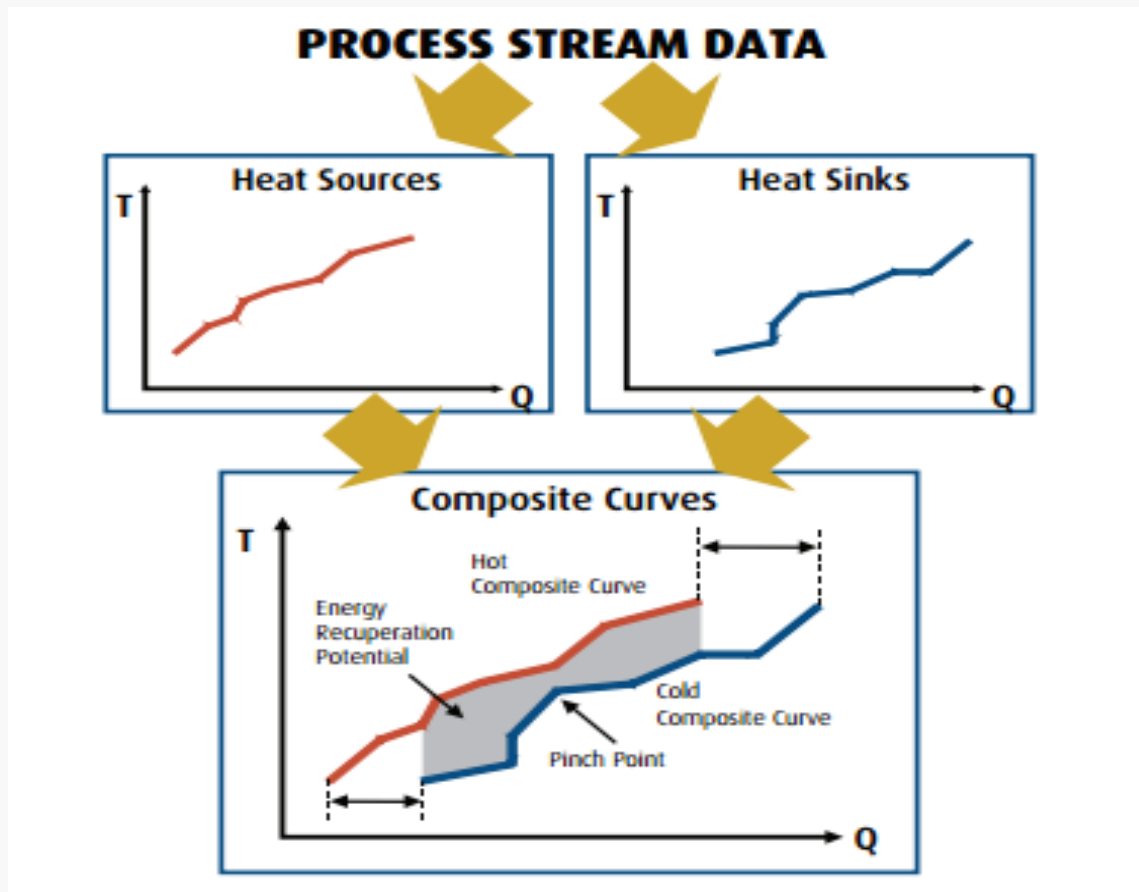


Figura 5. Curva combinada fría.

PROCEDIMIENTO PARA CURVAS COMPUESTAS COMBINADAS

10

5) Una vez obtenidas las curvas compuestas caliente y fría se procede a combinarlas.



CURVAS COMPUESTAS COMBINADAS

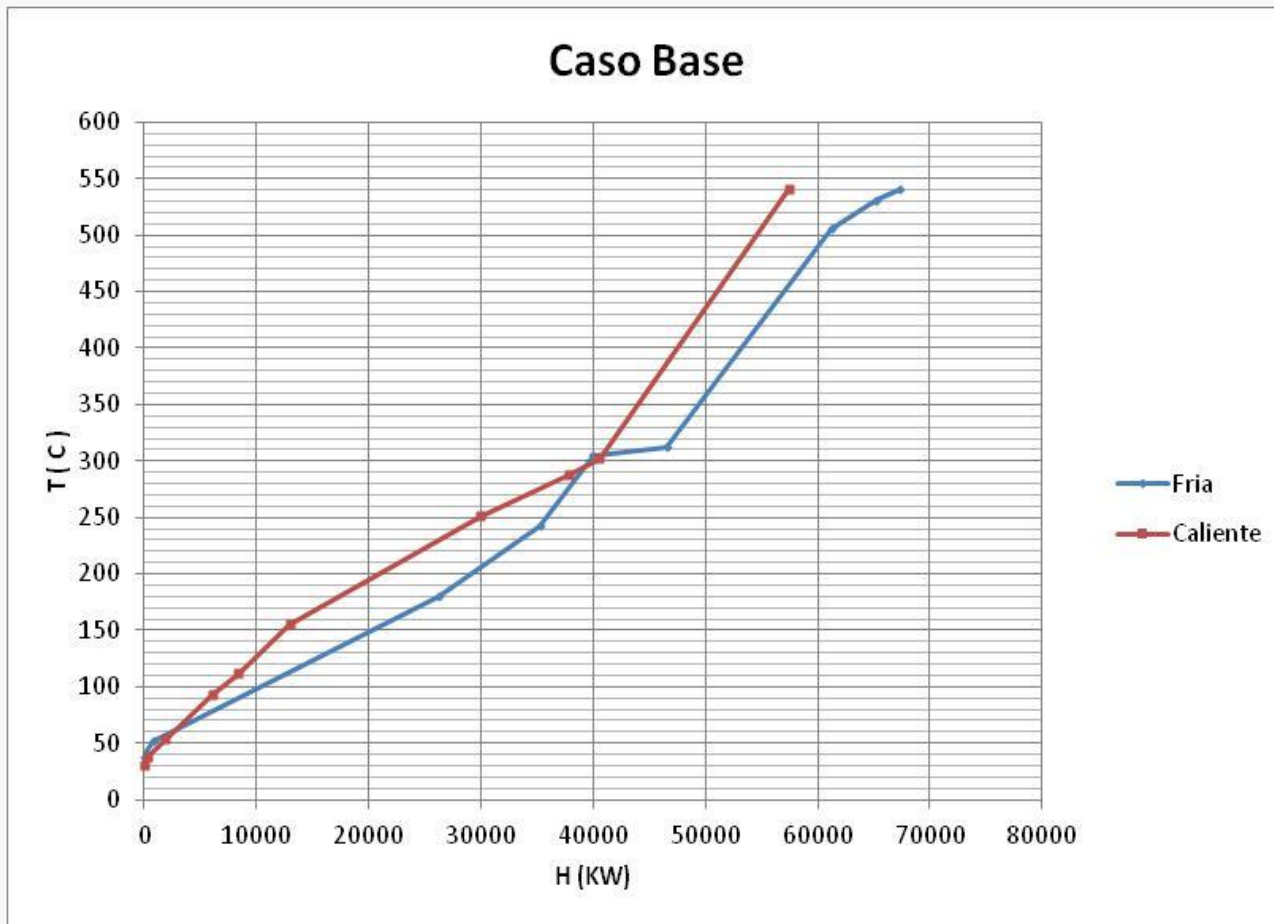
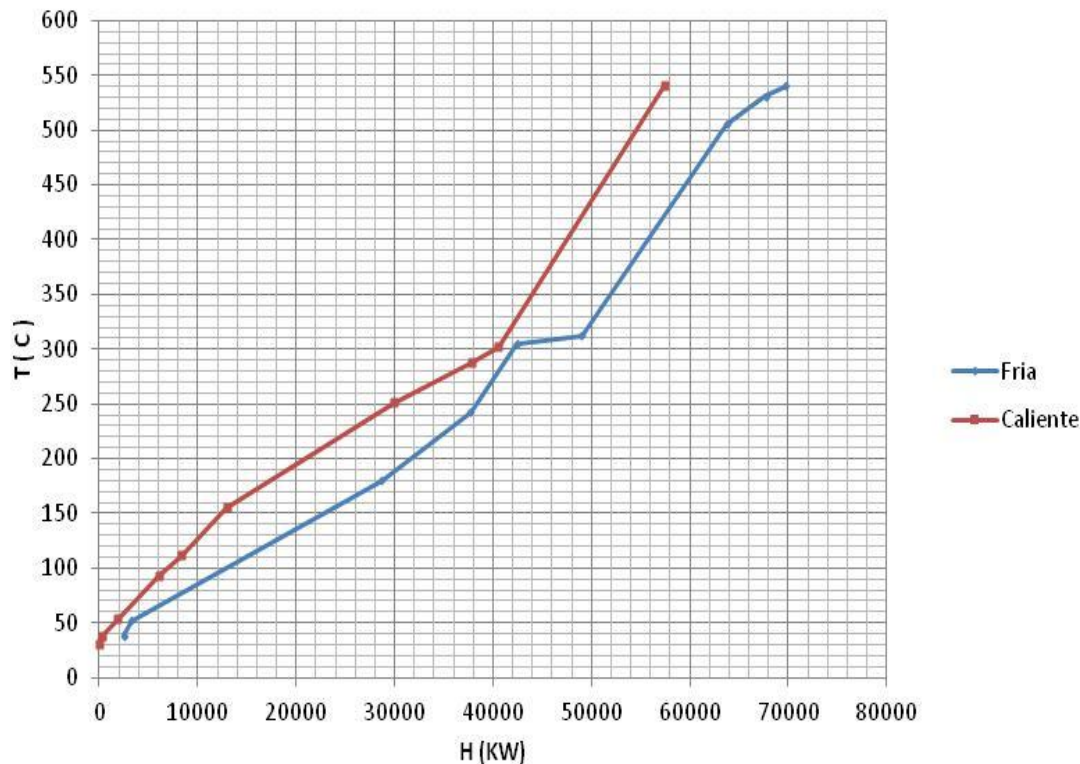


Figura 6. Curvas compuestas. Caso base

CURVAS COMPUESTAS COMBINADAS

Punto de origen de la curva fría a 2500 kW



Pinch: 40200 kW

Corrientes calientes que están antes de 2500 kW deben enfriarse con agua ya que no hay más disponibilidad de corriente fría en el proceso. Después de 50800 kW, la corriente fría se debe calentar con un horno (por las altas temperaturas requeridas para dicha corriente fría).

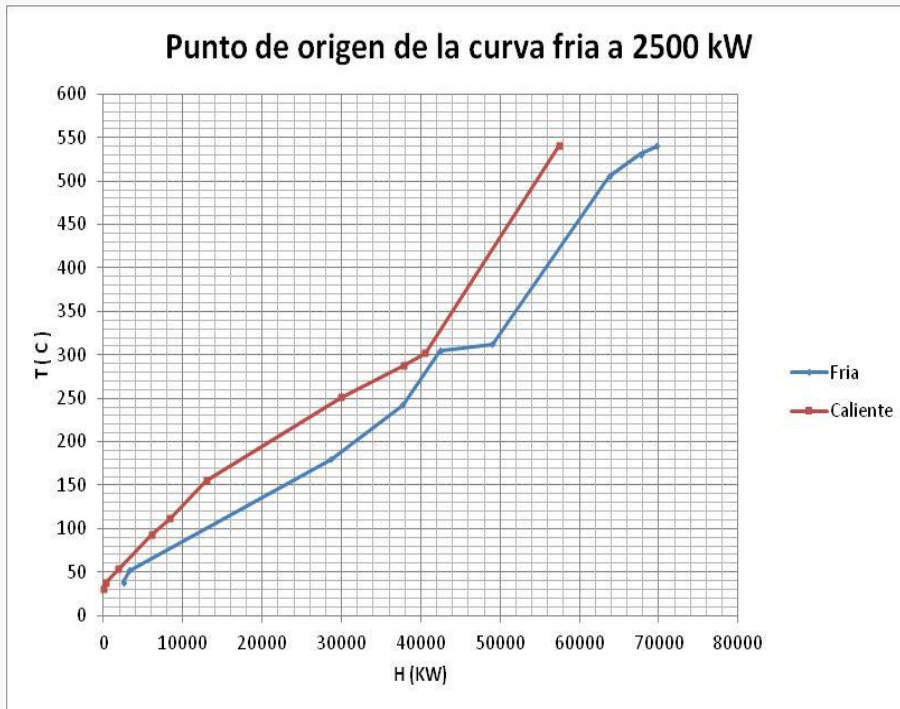
De 2500-50800 kW: se pueden utilizar las corrientes calientes correspondientes para ceder calor a las corrientes frías.

Figura 7. Curvas compuestas con curva fría iniciando en 2500 kW

REQUERIMIENTOS ENERGÉTICOS MÍNIMOS

13

Cálculo de los requerimientos mínimos de servicio caliente ($Q_{h,min}$) y de servicios fríos ($Q_{c,min}$) del proceso para el pinch de 10°C :



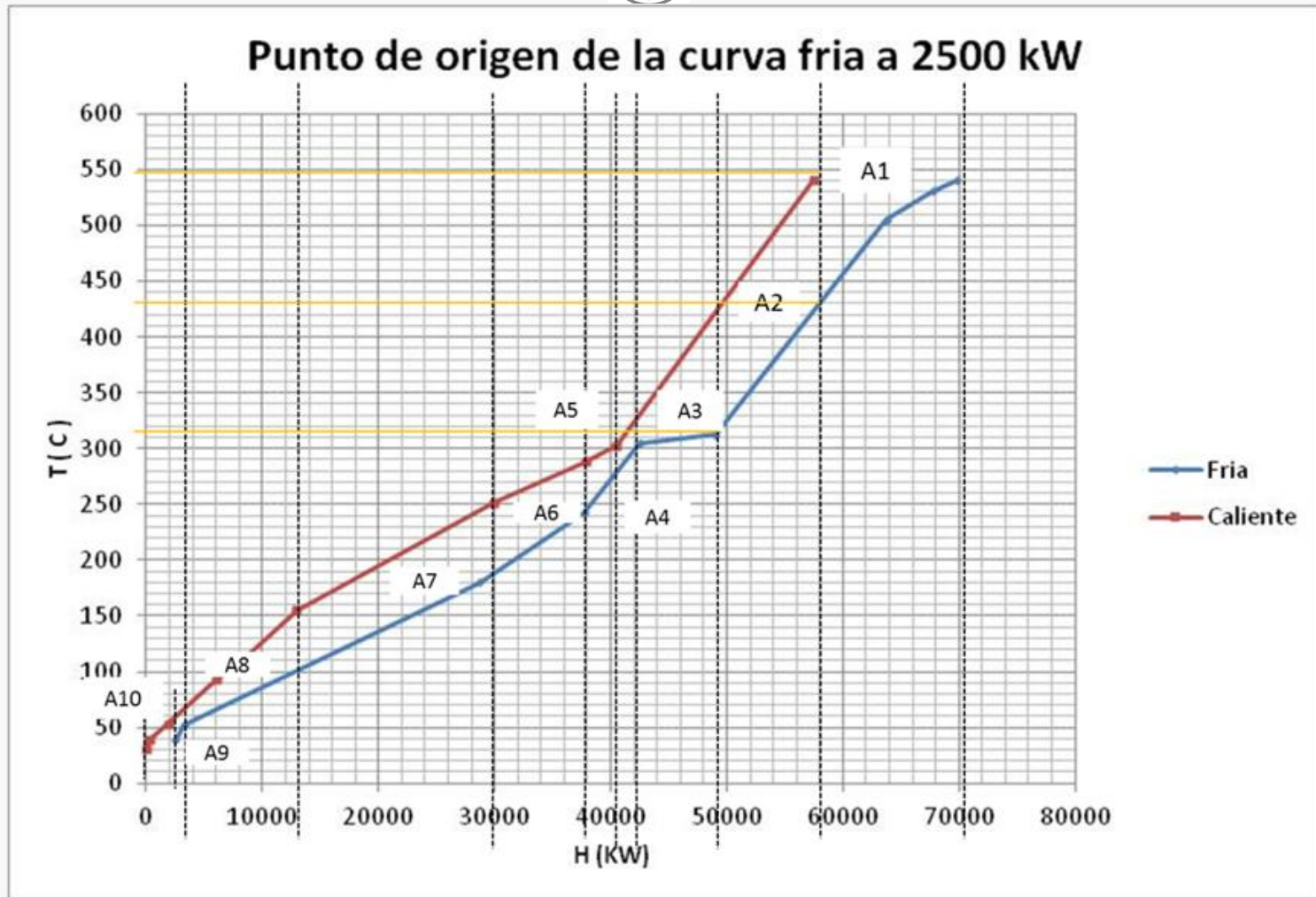
$$Q_{hmin} = 70000 - 50800 = 19200 \text{ kW}$$

$$Q_{cmin} = 2500 - 0 = 2500 \text{ kW}$$

Figura 8. Curvas compuestas con curva fría iniciando en 2500 kW

ÁREA MÍNIMA REQUERIDA

14



ÁREA MÍNIMA REQUERIDA

15

- Se lee la entalpía inicial (H_1) y la entalpía final (H_2) del tramo y se calcula el calor:

$$Q = H_1 - H_2$$

- Se leen las temperaturas de la corriente caliente y de la corriente fría, se calcula ΔT_1 , ΔT_2 y ΔT_{ML} :

$$\Delta T_1 = T_{hot,1} - T_{cold,1}$$

$$\Delta T_2 = T_{hot,2} - T_{cold,2}$$

$$\Delta T_{ML} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)}$$

ÁREA MÍNIMA REQUERIDA

16

- Por heurísticas:

$$U = 50 \frac{BTU}{ft^2 \cdot ^\circ F \cdot h} = 0,2839 \frac{kW}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

- Se calcula el área del tramo por medio de:

$$A_i = \frac{Q_i}{U \cdot \Delta T_{ML,i}}$$

- Se calcula el área total (sumatoria del área de cada tramo seleccionado de la curva):

$$A_{total} = \sum A_i = 4492,7 m^2$$

NÚMERO MÍNIMO DE UNIDADES DE TRANSFERENCIA DE CALOR

17

Se evalúan los resultados obtenidos por el método Pinch contabilizando el número de corrientes frías, calientes y de servicio antes y después del «Pinch»

$$N_{min} = [Nh + Nc + Nu - 1]_{AP} + [Nh + Nc + Nu - 1]_{BP}$$



Arriba del Pinch
Total: 4 corrientes



Debajo del Pinch
Total: 8 corrientes

$$N_{min} = 10 \text{ equipos}$$

CONCLUSIONES

- Se requieren más equipos de los que originalmente se tenían (8 equipos), lo que coincide con el hecho de que el área mínima requerida, calculada a partir del método pinch, sea mayor al área original (4492,73 m² y 3688,22 m² respectivamente).
- El requerimiento energético de servicios calientes ($Q_{h,min}$) del proceso real es menor al mínimo calculado con el análisis pinch, siendo este de aproximadamente 10000 kW.
- La combinación de intercambiadores sugerida por el método no es factible pues implicaría más gastos de los que se tenían originalmente.

REFERENCIAS

Palomino, A. “*Análisis Pinch y su contribución a la integración de procesos*”. Perú. (2004)

Kemp, I.C. “*Pinch Analysis and Process Integration*”. Elsevier, 2da Edición. USA. (2007)

Natural Resources Canada. “*Pinch Analysis: For the Efficient Use of energy, water and hydrogen*”. Canadá (2003)