

# Facultad de Ingeniería

## Ingeniería Química

### *Performance de Procesos*

# Introducción

- **1. Herramientas de Evaluación de Performance.**
  - Relación caso base.
  - Análisis utilizando resistencias controlantes.
- **2. Modelos de Entrada Salida de Procesos.**
  - Análisis de los efectos de las entradas en las salidas.
- **3. Curvas de performance para operaciones unitarias.**
  - Aplicaciones a transferencia de calor, flujo de fluidos y problemas de separación.
- **4. Performance de Reactores.**
  - Transferencia de calor en un reactor. Estudios de casos.
- **5. Regulación de condiciones de procesos.**
  - Regulación de flujo y presión. Control de procesos. Controlabilidad. Lazos de control. Estudio de casos.
- **6. Performance de Múltiples Operaciones Unitarias.**
  - Análisis del reactor con transferencia de calor. Performance de la columna de destilación. Performance de un lazo de calentamiento. Performance de una sección de alimentación.
- **7. Análisis de Procesos de Troubleshooting y Debottlenecking.**
  - Troubleshooting de operaciones unitarias. Troubleshooting de Múltiples operaciones unitarias. Problemas de Debottlenecking.

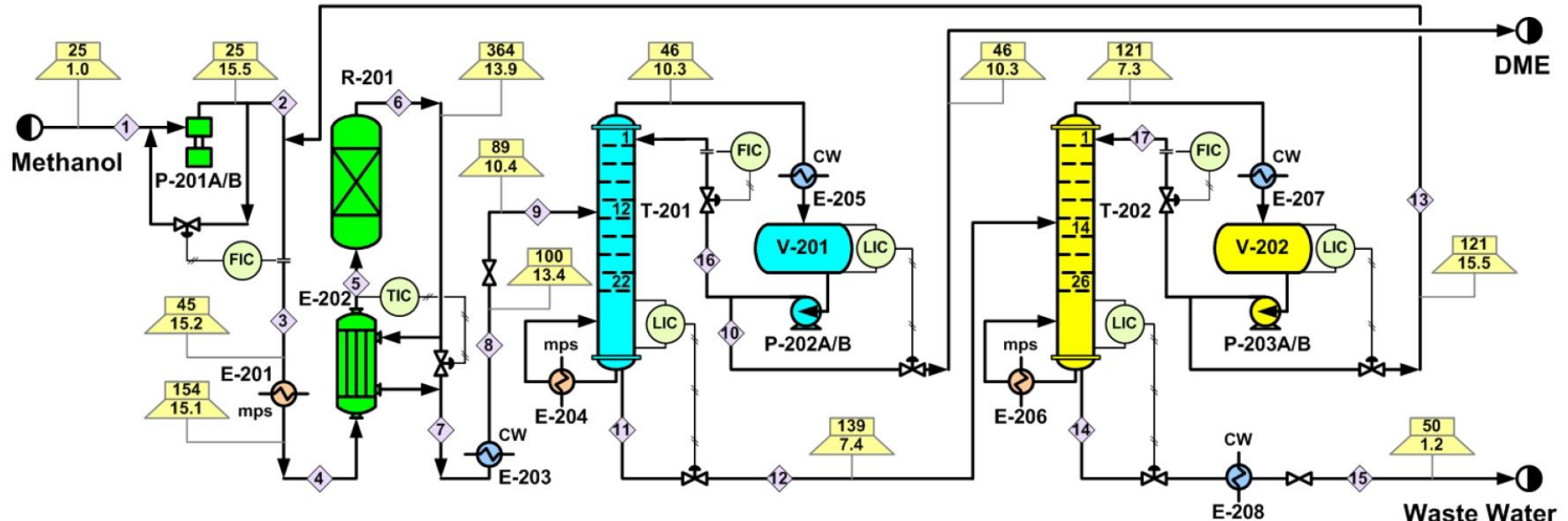
# DME

Deshidratación catalítica de methanol sobre catalysis de zeolita.



P-201A/B	E-201	R-201	E-202	E-203	T-201	E-204	E-205	V-201	P-202A/B	E-206	T-202	E-207	V-202	P-203A/B	E-208
Feed Pump	Methanol Pre-heater	Reactor	Reactor Cooler	DME Cooler	DME Tower	DME Reboiler	DME Condenser	DME Reflux Drum	DME Reflux Pumps	Methanol Reboiler	Methanol Tower	Methanol Condenser	Methanol Reflux Drum	Methanol Pumps	Waste Water Cooler

Temperature (°C)  
Pressure (bar)



Pressure (10.4 bar)	Flowrate (kmol/h)	Mole Fraction	Relative Volatility
DME	130.5	0.398	49.4
MeOH	64.9	0.197	2.2
Water	132.9	0.405	1.0

# Relaciones clásicas de performance

Situación	Ecuación	Tendencia	Comentario
Pérdida por fricción en flujo de fluidos	$\Delta P = \frac{2 \rho f L_{eq} u^2}{D}$	$ \Delta P  \propto u^2$ $ \Delta P  \propto D^{-5}$ $ \Delta P  \propto L$	Es para flujo turbulento totalmente desarrollado. Para flujo laminar es $\Delta P \propto D^{-4}$
Intercambiador de calor	$\left(\frac{hD}{k}\right) = c \left(\frac{Du\rho}{\mu}\right)^a \left(\frac{\mu C_p}{k}\right)^b$	$h_i \propto u^{0.8}$ $h_o \propto u^{0.6}$	La ecuación se utiliza cuando no hay cambio de fase.
Cinética	$r = k \prod C_i^{a_i}$ $k = k_0 e^{-\frac{E}{RT}}$	$\ln k \text{ vs. } 1/T$ Es lineal	$T \uparrow, k \uparrow$ Para gas ideal $P \uparrow, c_i \uparrow$ y $r \uparrow$
Reactor mezclador perfecto	$\frac{V}{F_{A0}} = \frac{\tau}{C_{A0}} = \frac{x}{-r_A}$	$\tau \propto V$ $\tau \uparrow \text{ o } V \uparrow, x \uparrow$	Se supone flujo volumétrico constante.
Reactor tubular	$\frac{V}{F_{A0}} = \frac{\tau}{C_{A0}} = \int_0^x \frac{dx}{-r_A}$		
Destilación		Si la relación de reflujo $\uparrow$ , el grado de separación $\uparrow$ .	

# Pensando con ecuaciones

## GENI

**GENI** es un método para resolver problemas cuantitativos

- Goal: Identifica el objetivo.
- Ecuación: Identifica las ecuaciones que relacionan los datos conocidos con los desconocidos o con las propiedades.
- Need: identifica relaciones adicionales que son necesarias para resolver la ecuación.
- Información: Lista adicional de información que está disponible.

# Tendencias de predicción

Este método es utilizado para predecir tendencias a partir de ecuaciones conocidas para aplicar a una dada situación física. En este método, hay cuatro posibles modificadores para un termino en una ecuación.

- $\neq$  valor constante
- $\uparrow$  aumento de valor
- $\downarrow$  disminución de valor
- $?$  Cambio de valor no conocido

# Ejemplo

Para una reacción bimolecular en fase gaseosa, la velocidad de reacción esta expresada por la siguiente expresión:

$$r_A = -k C_A C_B$$

¿Cuál es el efecto sobre la velocidad de la reacción de un incremento de la presión de un 10 % manteniendo constante la temperatura?

¿Cuál es el efecto sobre la velocidad de la reacción de un incremento de la temperatura de un 10 % manteniendo constante la presión?

# Caso Base: Relación

Hay que establecer predicciones de cambios del proceso sobre datos de operación conocidos, no sobre datos de diseño.

$$X = \frac{x_2}{x_1}$$

X1: Característica del sistema del caso base

X2: característica del sistema en el nuevo caso.



# Caso Base: grupos principales

**Relaciones relacionadas al tamaño de equipo:** ( $L_{eq}$ , longitud equivalente,  $D$  diametro,  $S$  superficie). Suponiendo que los equipos no se modifican, estos valores son constantes, la relación es la unidad.

**Relaciones relacionadas a propiedades físicas:** (densidad, viscosidad) Estos valores son función de la composición, temperatura y presión.

**Relaciones relacionadas a propiedades de corrientes:** Involucran a velocidad, flujo, concentración, temperatura y presión.

# Estudio de caso 1

Es necesario aumentar la producción en una planta existente un 25 %. Un sector de la planta tiene instalada una bomba cuya función es proveer la presión necesaria para vencer las pérdidas por fricción entre la bomba y el reactor.

La bomba tiene la capacidad suficiente para realizar poder aumentar la producción. ¿Cuál es el % de incremento?

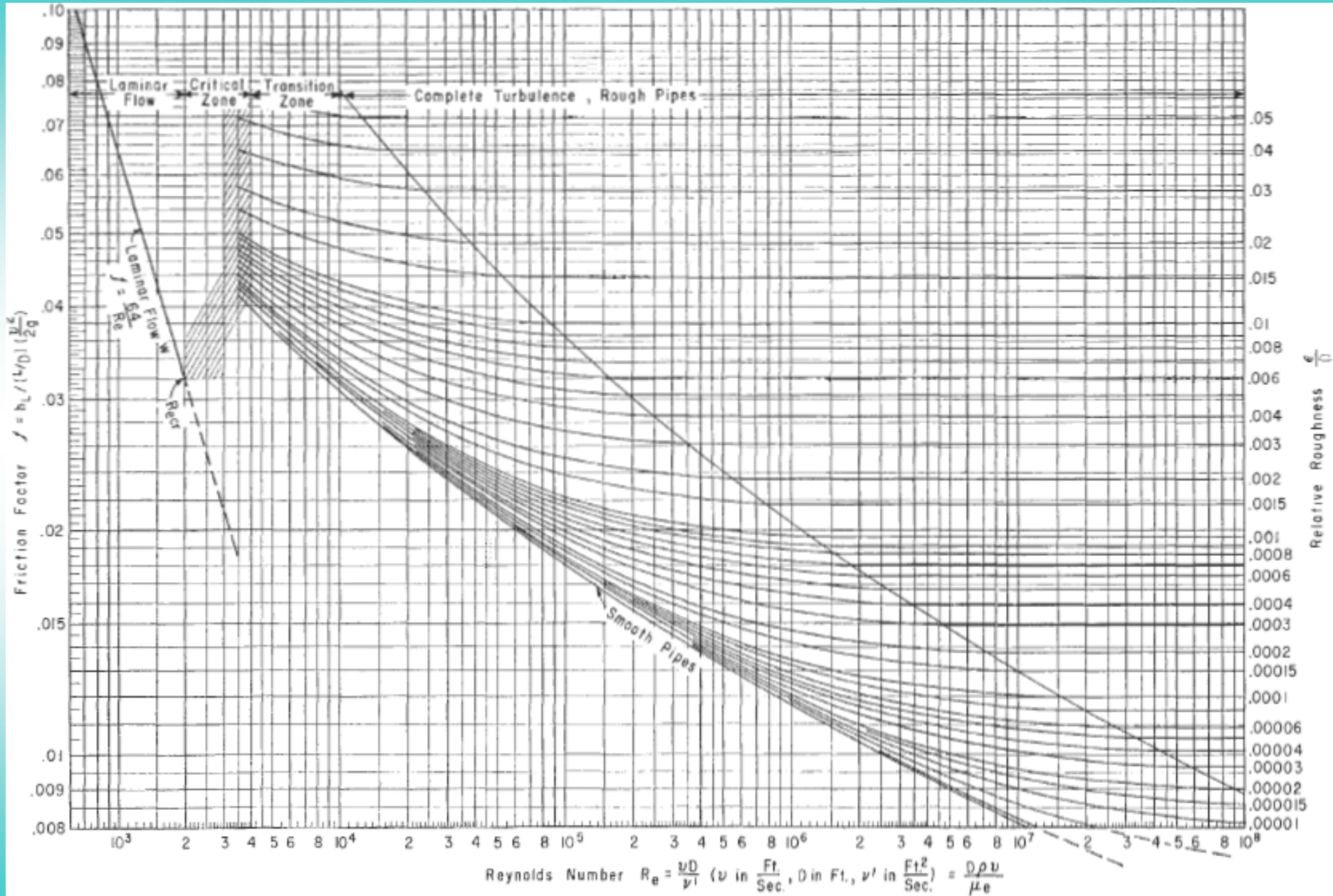
Caída de presión:

$$\Delta P_f = \frac{2\rho fL_{eq}u^2}{D}$$

# Performance de equipos de flujos de fluido

- Flujo en cañerías
  - Laminar vs. Turbulento
- NPSH
- Bombas y curvas de sistema
  - Simple vs. Múltiple bomba.
  - Centrífuga vs. Desplazamiento positivo.
  - Compresores

# Representación gráfica



# Performance de equipos de flujos de fluido

- Flujo en cañerías

- Laminar vs. Turbulento

$$\dot{v} = \frac{\pi D^2}{4} v = \frac{\Delta P \pi D^4}{128 \mu L}$$

$$\Delta P_{fr} = \frac{32 \nu \mu L}{D^2} = \frac{128 \dot{v} \mu L}{\pi D^4} \Rightarrow \Delta P_{fr} \propto D^{-4} \text{ and } \propto \nu$$

$$\Delta P_{fr} = \frac{2 \rho f L v^2}{D} \Rightarrow \Delta P_{fr} \propto v^2$$

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho A} = \frac{4 \dot{m}}{\rho \pi D^2}$$

$$\Delta P_{fr} = \frac{32 f L \dot{m}^2}{\rho \pi^2 D^5} \Rightarrow \Delta P_{fr} \propto D^{-5}$$

# Caso Base: Ejemplo

Es necesario realizar un **scale up** en la producción de una planta existente del 25 %.

La función de la bomba es proveer la presión necesaria para vencer la pérdidas por fricción entre la bomba y el reactor.

Su trabajo es determinar si una bomba tiene la capacidad suficiente para realizar el *scale up*. ¿Cuál es el % de *scale up*?

Siendo la caída de presión:

$$2 = \text{new} \quad 1 = \text{old}$$

$$\frac{v_2}{v_1} = 1.25$$

$$\Delta P_{fr} = \frac{2\rho fLv^2}{D} \quad \Rightarrow \quad \Delta P_{fr} \propto v^2$$

$$\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \frac{v_2^2}{v_1^2} = 1.25^2 = 1.5625$$

*Si el diámetro es doble, flujo turbulente, qué pasa con  $\Delta P$*

$$2 = \text{new} \quad 1 = \text{old}$$

$$\frac{D_2}{D_1} = 2$$

$$\Delta P_{fr} = \frac{32fL\dot{m}^2}{\rho\pi^2D^5} \quad \Rightarrow \quad \Delta P_{fr} \propto D^{-5}$$

$$\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \frac{D_1^5}{D_2^5} = 0.5^5 = 0.03125 = \frac{1}{32}$$

# Performance de equipos de flujos de fluido

## NPSH

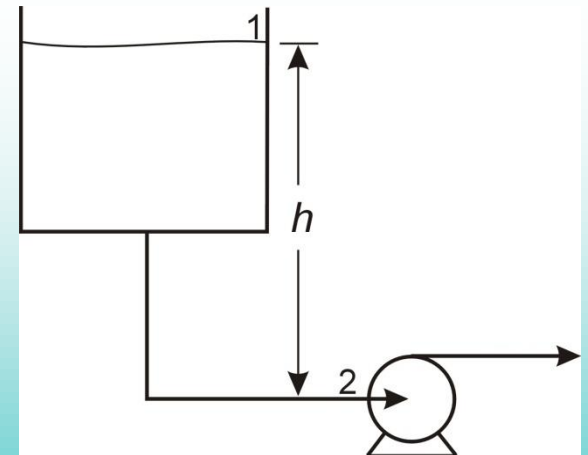
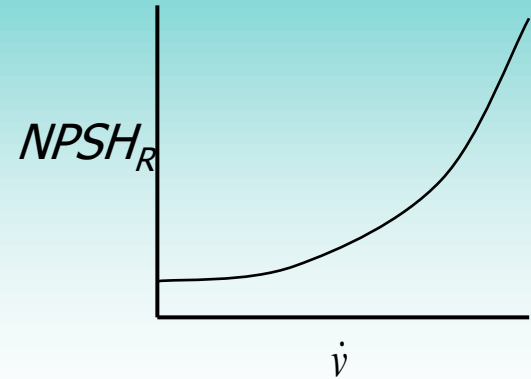
- $NPSH_A = P_{inlet} - P^*$
- $NPSH_A = \text{NPSH "disponible"}$
- $NPSH_R = \text{NPSH "requerido"}$ 
  - información suministrada por fabricante de bomba
- Balance energía para bomba

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2} + g\Delta z + e_f - W_s = 0 \quad \Delta \rightarrow 2-1$$

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho} - gh + \frac{2fLv^2}{D} = 0$$

$$P_2 = P_1 + \rho gh - \frac{2\rho fLv^2}{D}$$

$$NPSH_A = P_2 - P^* = P_1 + \rho gh - \frac{2\rho fLv^2}{D} - P^*$$



# Performance de equipos de flujos de fluido

## NPSH

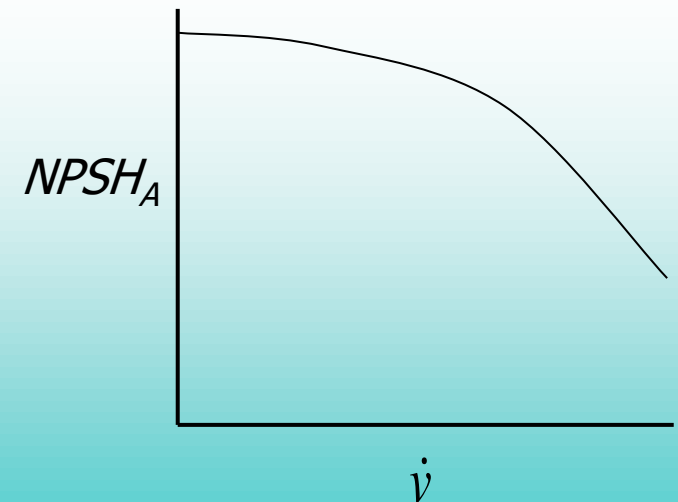
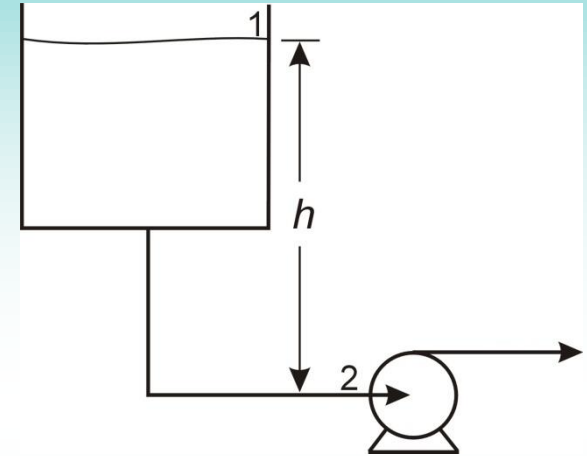
$$NPSH_A = P_1 + \rho gh - \frac{32\rho f L \dot{v}^2}{\pi^2 D^5} - P^*$$

de forma

$$NPSH_A = a - b\dot{v}^2$$

$$a = P_1 + \rho gh - P^*$$

$$b = \frac{32\rho f L}{\pi^2 D^5}$$





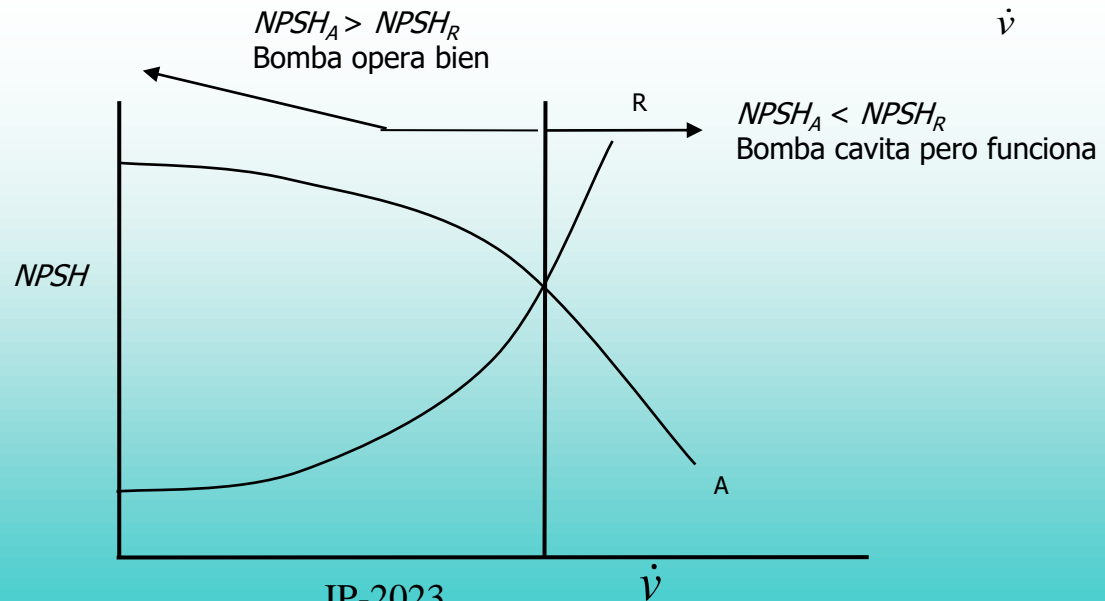
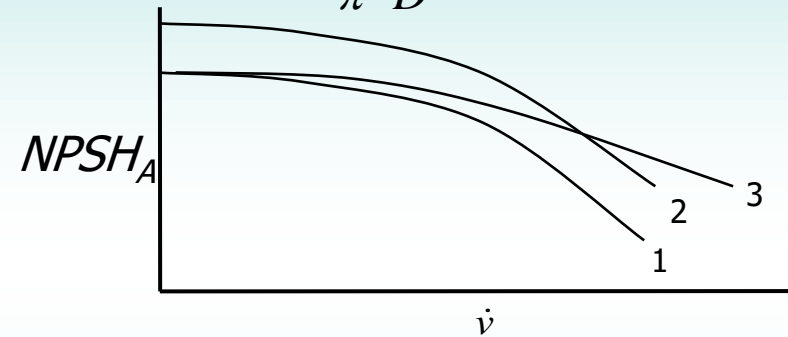
# Performance de equipos de flujos de fluido

- Cómo incrementar el  $NPSH_A$
- Caso base es (1)
  - Incremento  $a$  – curva (2)
    - incrementar  $h$
    - incrementar  $P_1$
    - disminuir  $P^*$ 
      - disminuir  $T$
  - disminuir  $b$  – curva (3)
    - Disminuir  $L$
    - incrementar  $D$ 
      - Línea de succión grande  $D$

$$NPSH_A = a - b\dot{v}^2$$

$$a = P_1 + \rho gh - P^*$$

$$b = \frac{32\rho fL}{\pi^2 D^5}$$

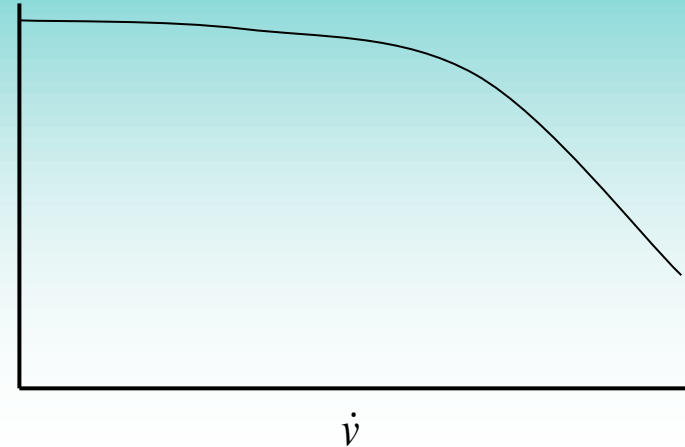


# Performance de equipos de flujos de fluido

## Bomba y curva de sistema

- Curva de bomba
- Sumistrada por fabricante
- Puede ser medida en laboratorio
- Curva de sistema

$\Delta P$  en unidad presión  
o altura



Trabajo de bomba

aumentar presión fluido y vencer todas las pérdidas de la presión

$$\Delta P_{1-2} = \Delta P_{1-3} + (-\Delta P_{fr}) + (-\Delta P_{2-3})$$

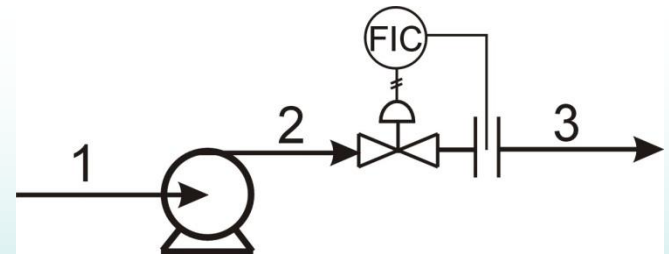
$$\Delta = \text{out} - \text{in}$$

$$\Delta P_{1-3} = \text{fuente a destino } \Delta P (\text{usual } > 0) + \rho g \Delta z (\text{puede ser } > 0 \text{ o } < 0)$$

$$\Delta P_{1-2} = \text{cambio presión con la bomba } (> 0)$$

$$\Delta P_{fr} = \text{pérdida de presión en cañería } (< 0)$$

$$\Delta P_{2-3} = \text{pérdida de presión en la válvula } (< 0)$$



# Performance de equipos de flujos de fluido

- Curva de sistema

$$\Delta P_{sys} = \Delta P_{1-3} + (-\Delta P_{fr})$$

$\Delta$  = out - in

$$\Delta P_{1-3} = \text{fuente a destino } \Delta P (\text{usual } > 0) + \rho g \Delta z (\text{puede ser } > 0 \text{ o } < 0)$$

$$\Delta P_{sys} = \Delta P_{1-3} + \frac{2\rho f L v^2}{D} = \Delta P_{1-3} + \frac{32\rho f L \dot{v}^2}{\pi^2 D^5}$$

también,

$$\Delta P_{pump} = \Delta P_{sys} + (-\Delta P_{valve})$$

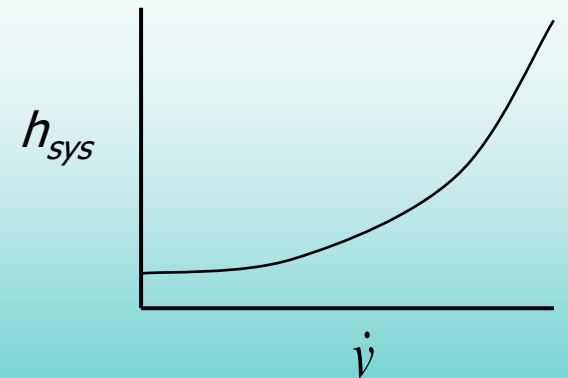
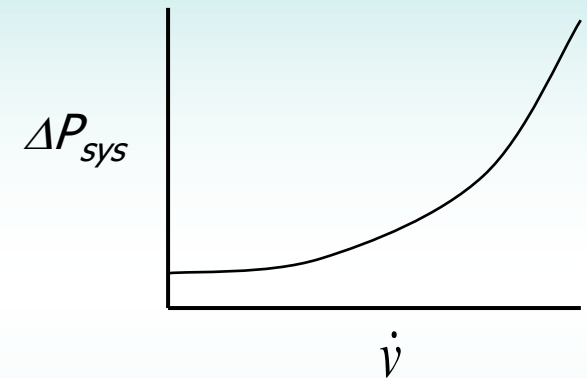
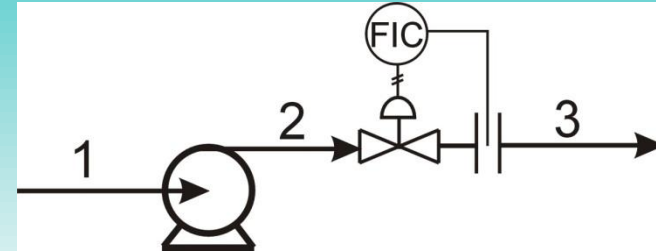
forma empirica  $\Delta P_{sys} = a + b\dot{v}^2$

- Frecuentemente expresada como:

$$h_{sys} = h_{1-3} + \frac{2fLv^2}{gD} = h_{1-3} + \frac{32fL\dot{v}^2}{g\pi^2 D^5}$$

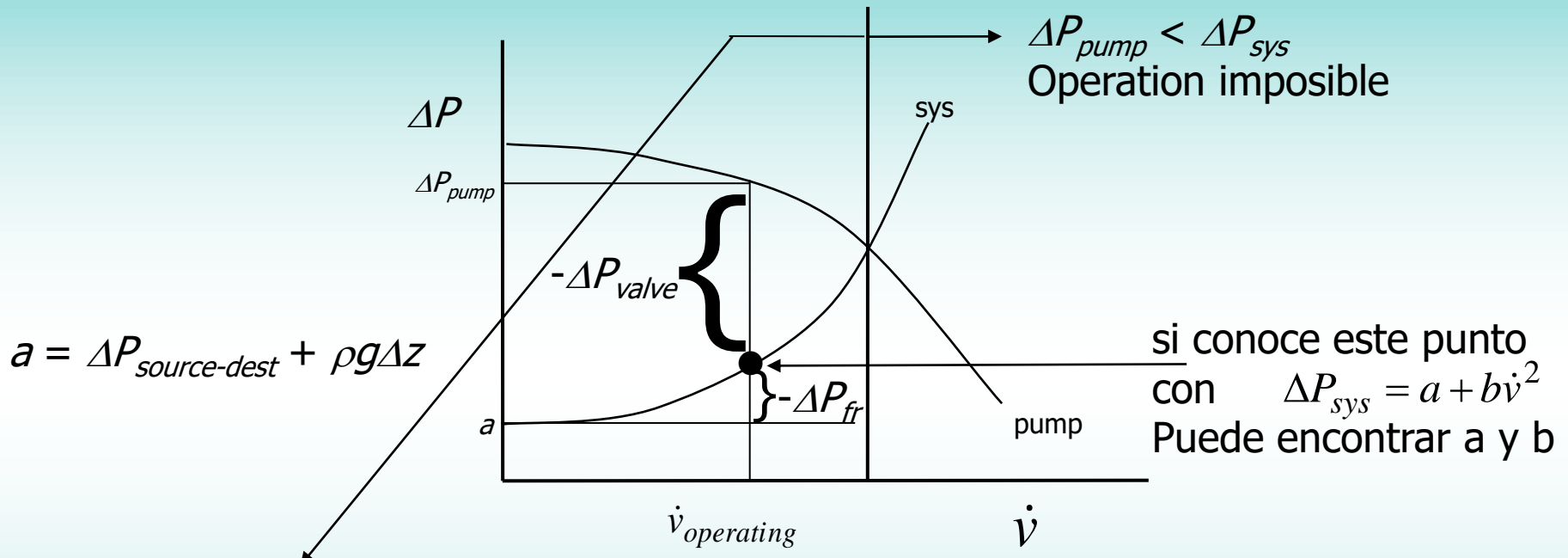
o

$$h_{pump} = h_{sys} + h_{valve}$$



# Performance de equipos de flujos de fluido

- Bomba y curva de sistema



$$a = \Delta P_{source-dest} + \rho g \Delta z$$

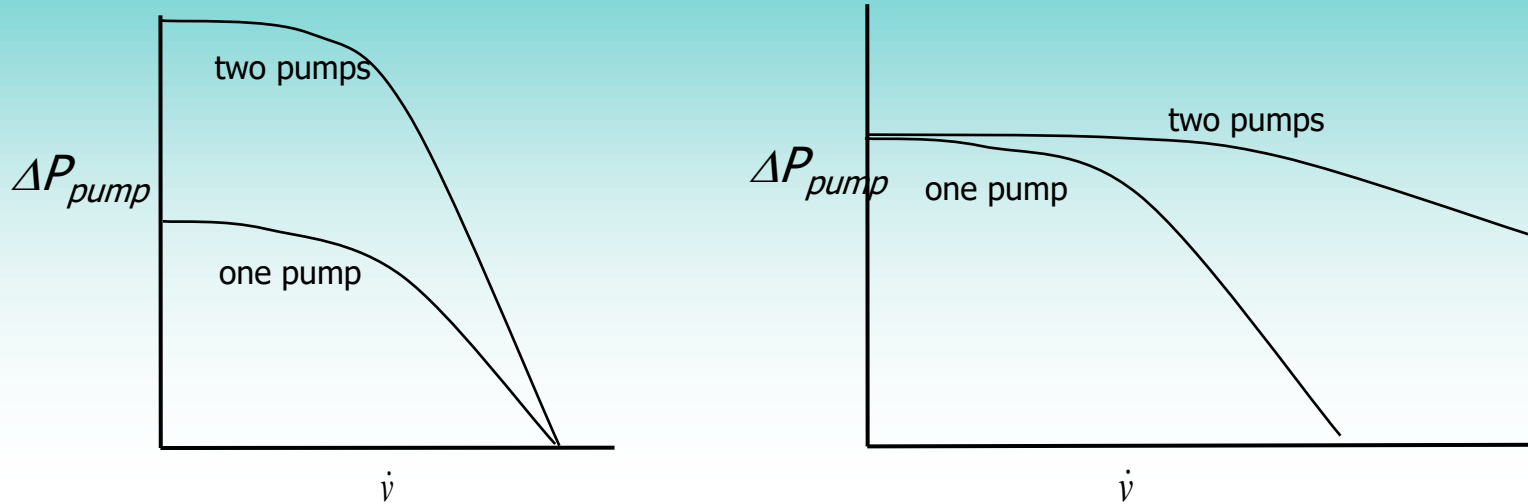
si conoce este punto  
con  $\Delta P_{sys} = a + b\dot{v}^2$   
Puede encontrar a y b

$$\Delta P_{pump} > \Delta P_{sys}$$

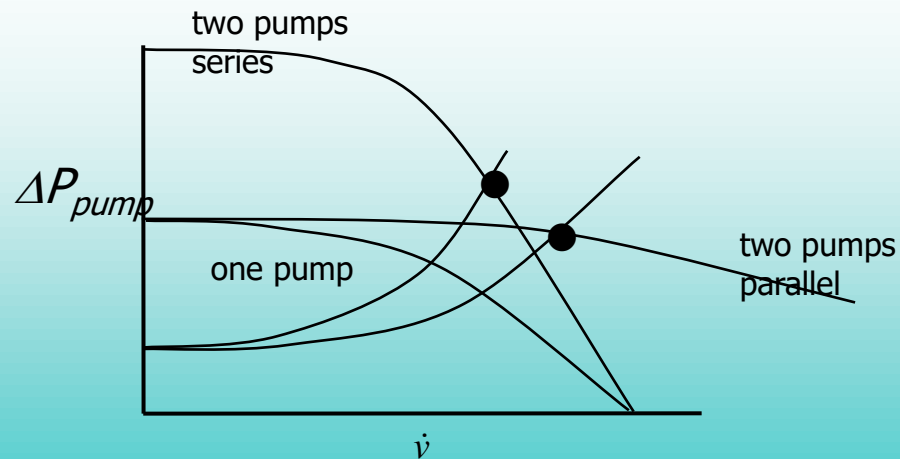
El exceso de presión se disipa a través de la válvula. El punto de intersección corresponde a la válvula completamente abierta.

# Performance de equipos de flujos de fluido

- Bomba en serie o en paralelo.

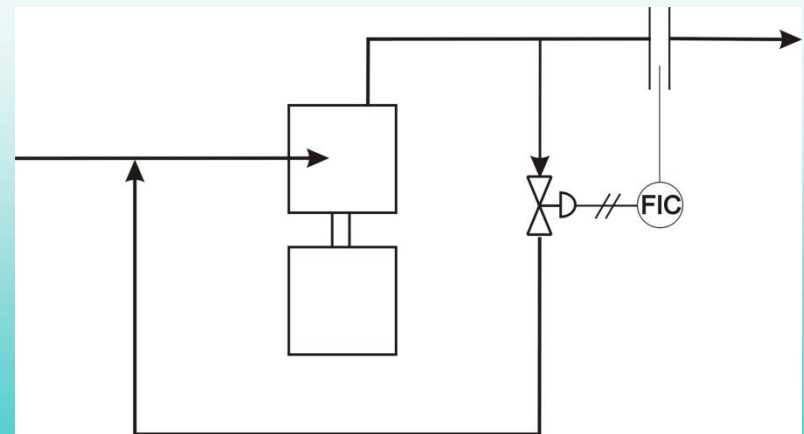
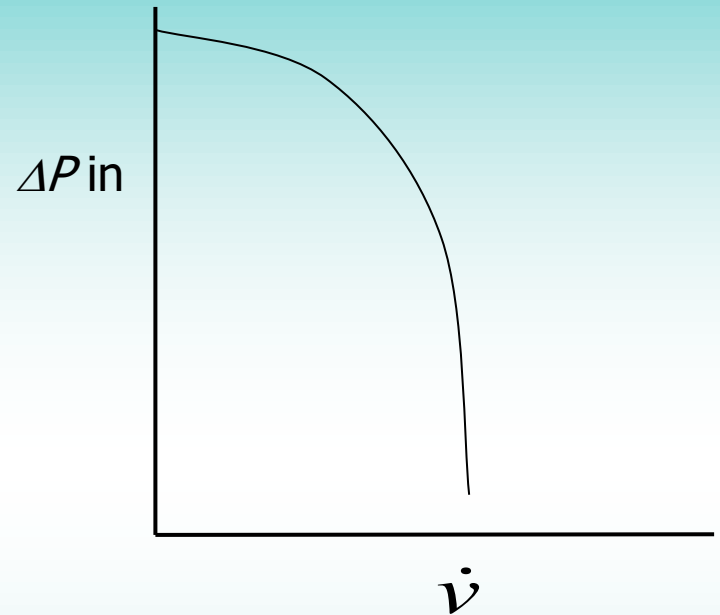
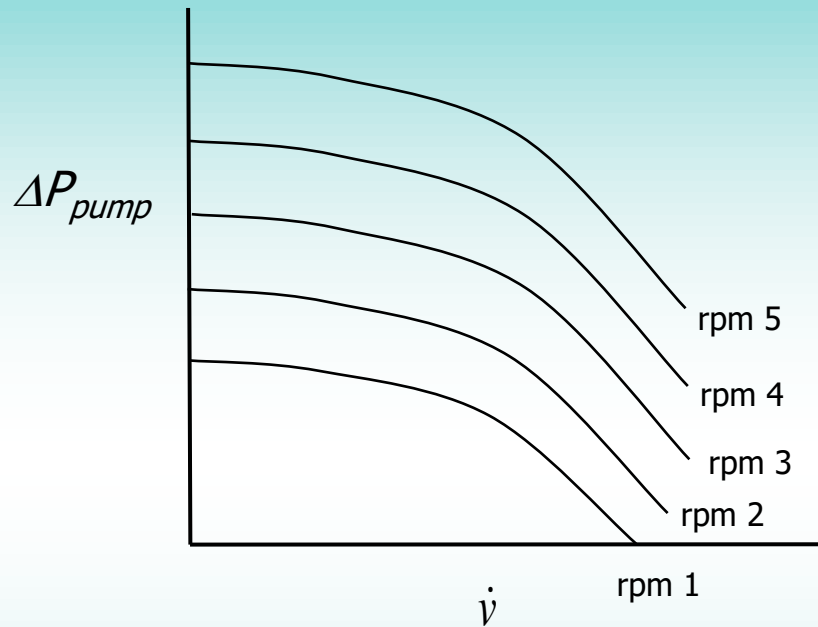


- ¿Qué configuración maximiza el flujo?



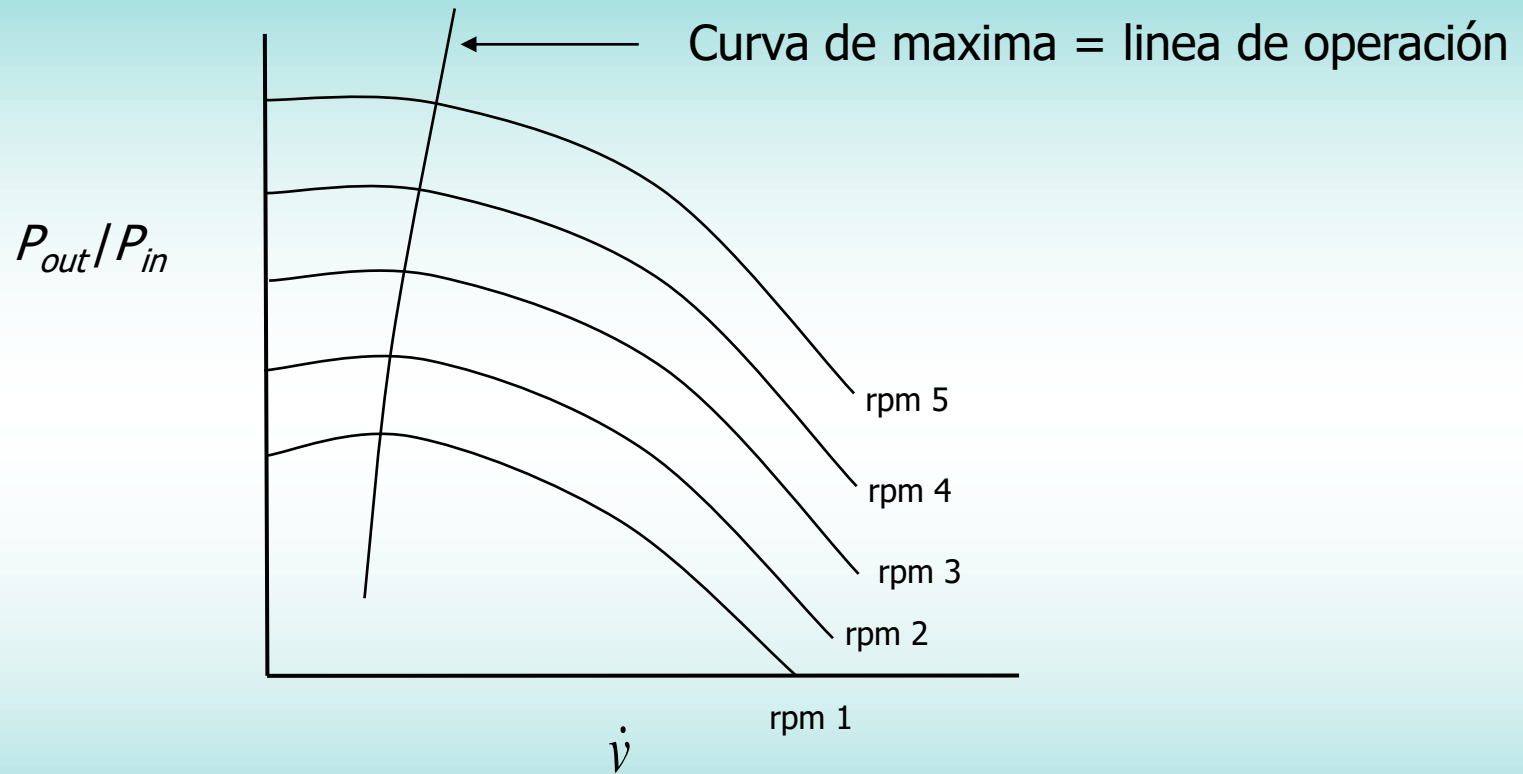
# Performance de equipos de flujos de fluido

- Bomba centrífuga vs. desplazamiento positivo



# Performance de equipos de flujos de fluido

- Compresores



Generalmente conviene incorporar un variador de velocidad por los costos de la compresión

# Performance de intercambiadores de calor

- Diseño de IC

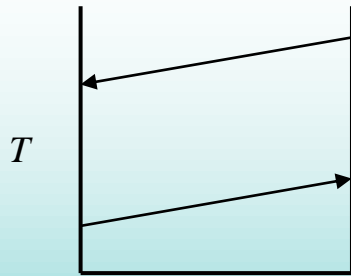
$$Q = \dot{m}_c C_{p,c} (T_{c,out} - T_{c,in}) \quad \text{ó} \quad Q = \dot{m}_c \lambda_c$$

$$Q = \dot{m}_h C_{p,h} (T_{h,in} - T_{h,out}) \quad \text{ó} \quad Q = \dot{m}_h \lambda_h$$

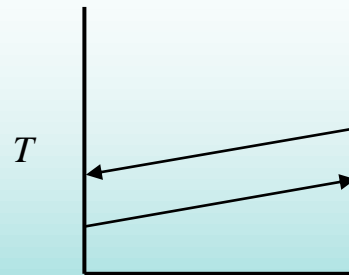
$$Q = UA \Delta T_{lm} F$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{h,out} - T_{c,in}) - (T_{h,in} - T_{c,out})}{\ln \left( \frac{T_{h,out} - T_{c,in}}{T_{h,in} - T_{c,out}} \right)}$$

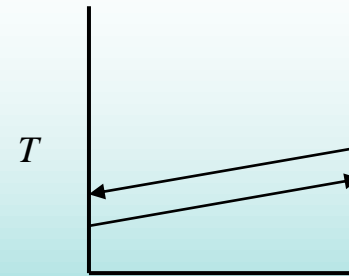
$$F = f(T_{h,out}, T_{h,in}, T_{c,out}, T_{c,in}, \dot{m}_c C_{p,c}, \dot{m}_h C_{p,h})$$



$F > 0.9$



$F < 0.9$

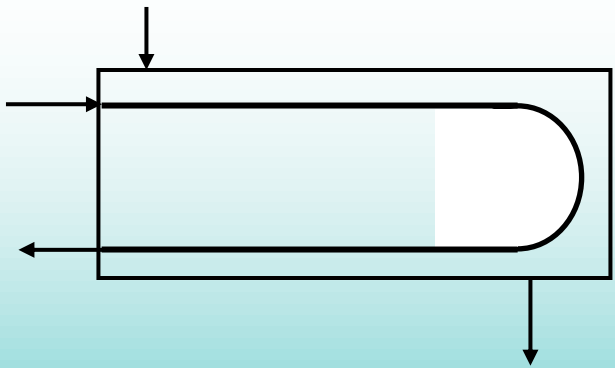
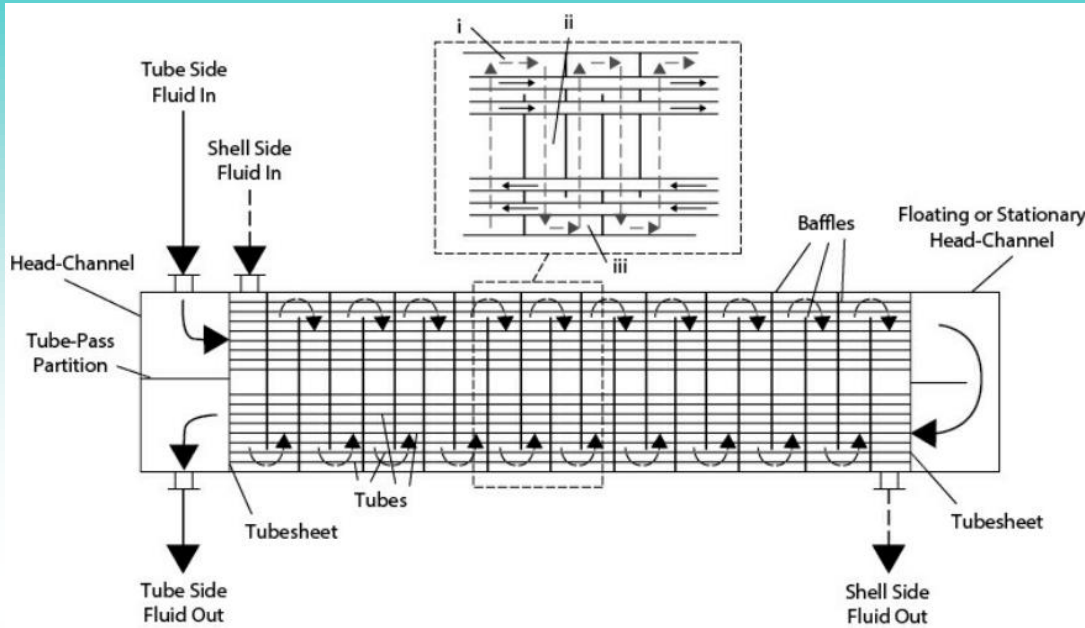


$F < 0.7$

A medida que se acercan las temperaturas,  $F$  disminuye. Cuando  $F$  es demasiado pequeño, debe agregarse pasajes de coraza adicional para aumentar  $F$ .

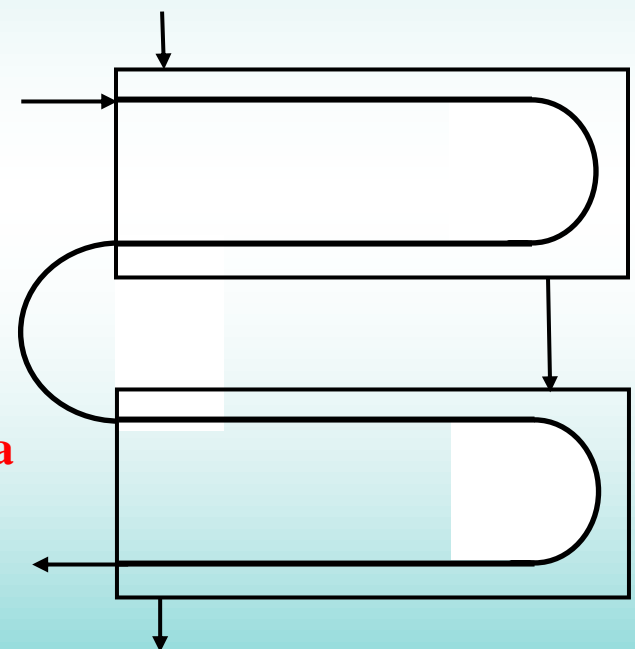


# Performance de intercambiadores de calor



Un paso por coraza  
Dos pasos por los tubos

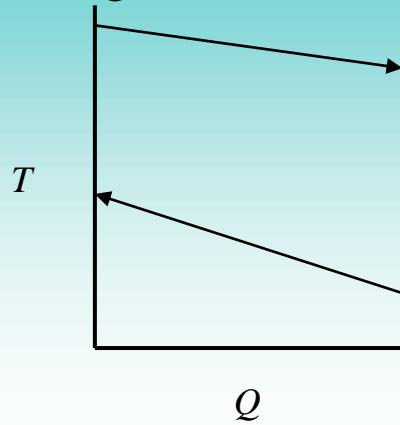
**Paso adicional en coraza**



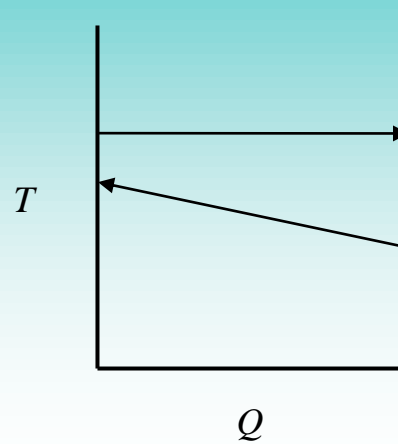
Dos pasos por coraza  
Cuatro pasos por los tubos

# Performance de intercambiadores de calor

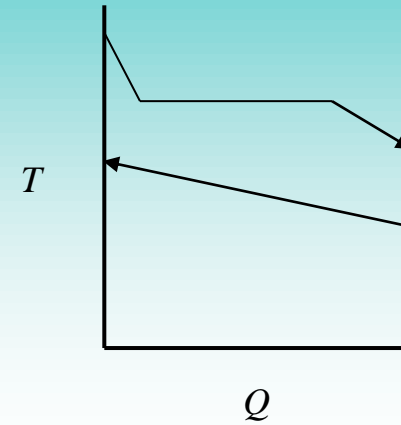
- Diagrama T-Q



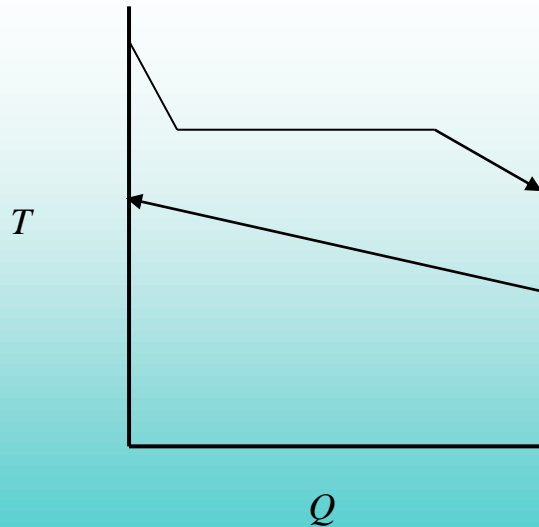
Sin cambio de fase



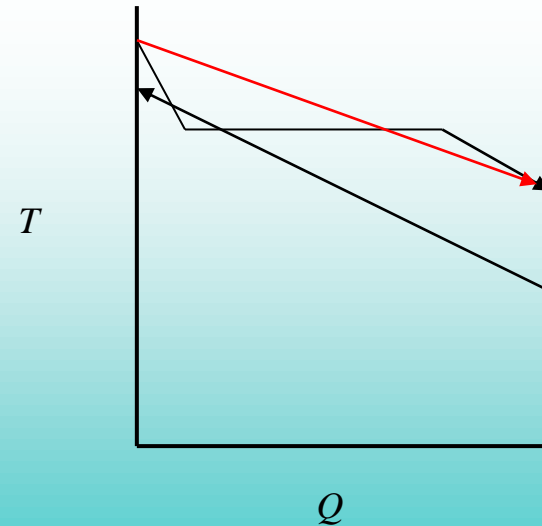
Fluido caliente condensado



Fluido caliente enfriamiento,  
Condensación, subenfriamiento



correcto



incorrecto

# Análisis de sistema utilizando resistencia controlante

Las relaciones de diseño para muchas operaciones tal como el flujo de fluidos, transferencia de calor y reactores químicos involucran ecuaciones de velocidad:

$$Rate = \frac{Driving\ Force}{Resistance}$$

Coeficiente de transferencia de calor (tubo limpio)

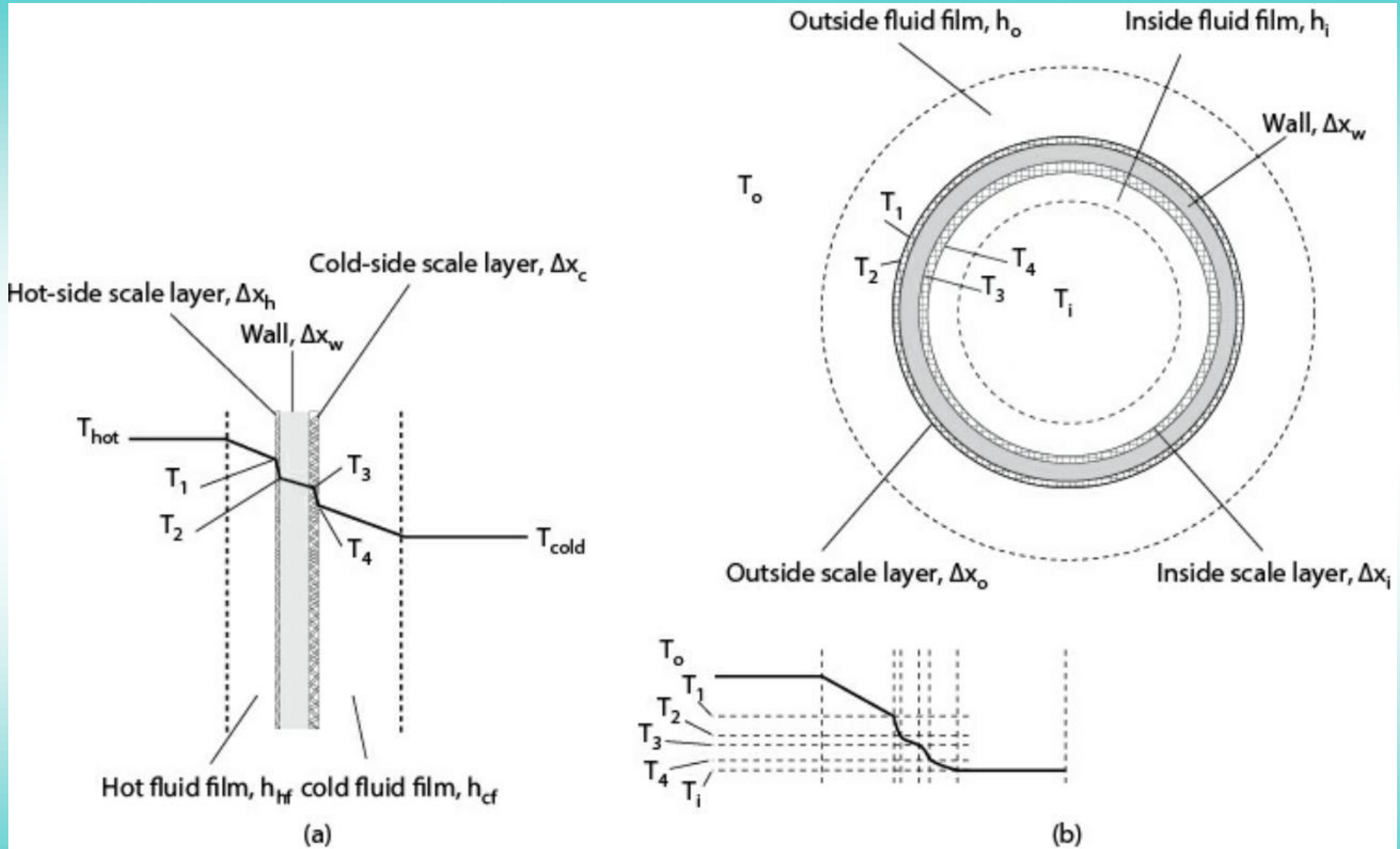
$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_0} + \frac{1}{h_{f,0}} + \frac{D_0 \ln\left(\frac{D_0}{D_i}\right)}{2k} + \frac{D_0}{D_i h_{f,i}} + \frac{D_0}{D_i h_i}$$

Do: diámetro externo

Di: diámetro interno

Para problemas de performance, suponga que no hay incrustaciones, paredes delgadas y resistencia de pared despreciable.

# Análisis de sistema utilizando resistencia controlante



# Análisis de sistema utilizando resistencia controlante

Suponiendo que  $D=Di=Do$

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_i}$$

## Relación de caso base

**Uo2:** nuevo coeficiente de transferencia de calor

**Uo1:** coeficiente original de transferencia de calor.

$h_i \propto v^{0.8}$  (fluido en tubo o anulo, sin cambio de fase)

$h_o \propto v^{0.6}$  (fluido en coraza con flujo cruzado, sin cambio de fase)

$h \neq f(v)$  para fluido con cambio de fase.

Ebullición,  $h = f(\Delta T^n)$  donde  $n \approx 0,25$  si  $\Delta T \leq 10^\circ F$

$n \approx 3 a 4$  si  $10^\circ F \leq \Delta T \leq 50^\circ F$

$\Delta T$  es la diferencia de temperatura entre la superficie caliente y el fluido en ebullición

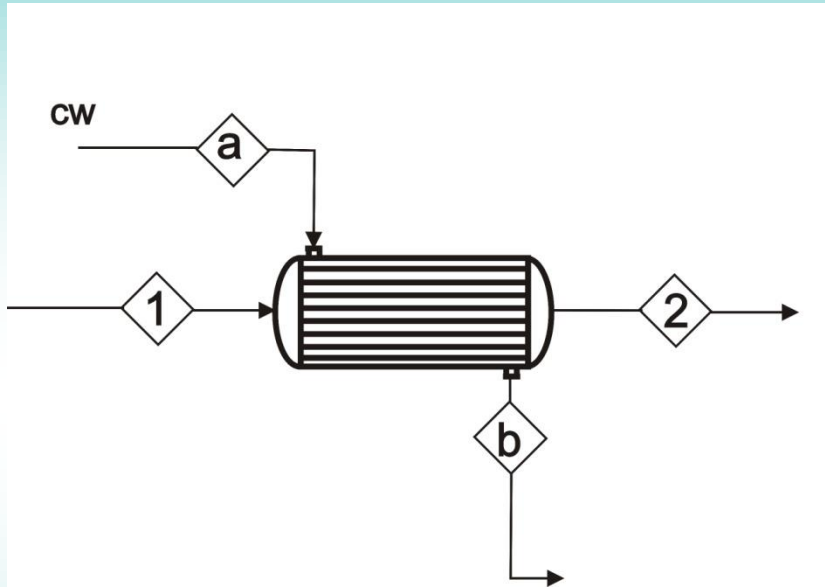
Condensación,  $h = f(\Delta T^n)$  donde  $n \approx -0,25$

$\Delta T$  es la diferencia de temperatura entre la superficie fría y el fluido que condensa

# Regulación de temperatura de IC

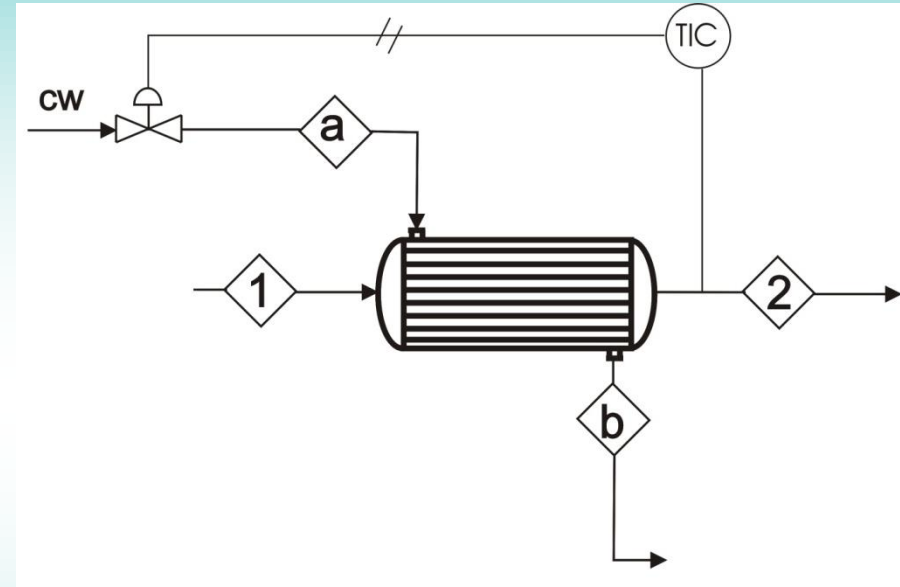
## Sin cambio de fase

- Sin regulación



Si el caudal del fluido del proceso aumenta h aumenta, se obtiene una mayor transferencia de calor algo autorregulada; sin embargo, h no aumenta linealmente con el caudal.

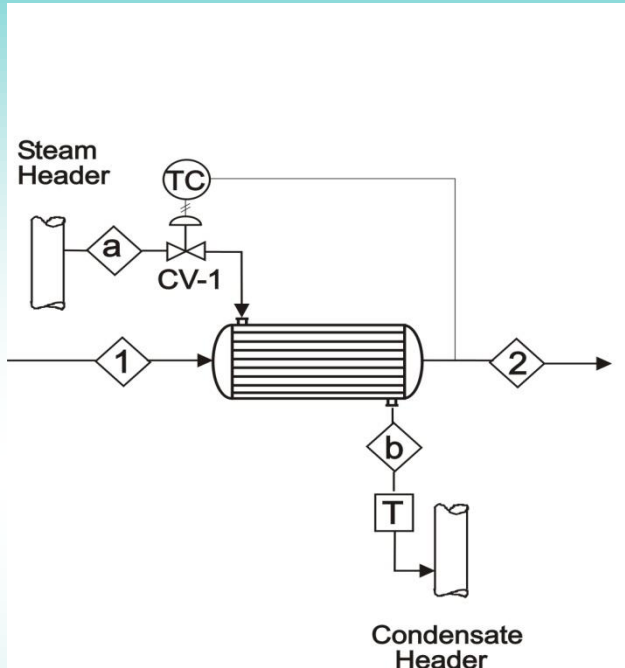
- Con regulación



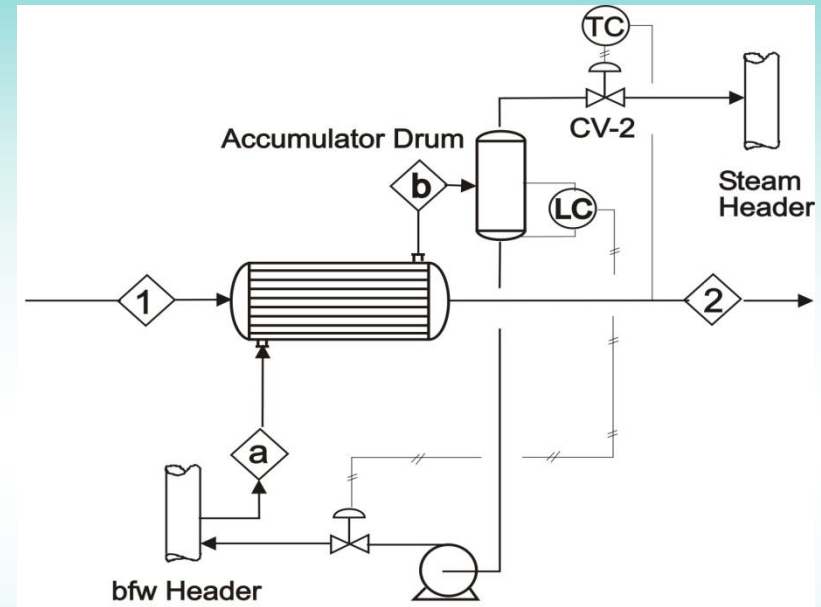
Se regula el caudal servicio de acuerdo a la temperatura de salida del ITC.

# Regulación de temperatura de IC

## Con cambio de fase



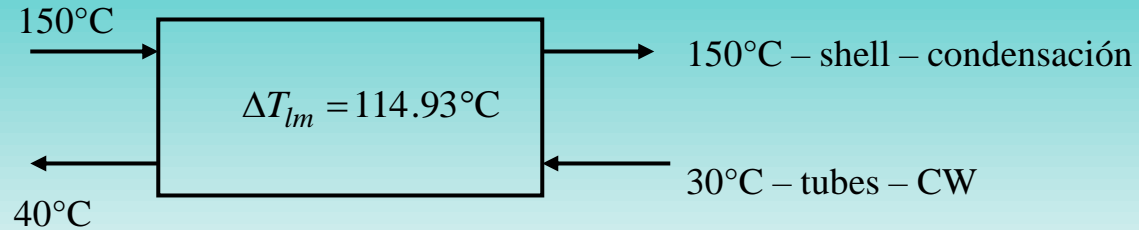
CV-1 reduce la presión del vapor  
cambia la fuerza impulsora  
caudal de vapor no controlado  
La trampa de vapor elimina el  
condensado a medida que se acumula.



El caudal de bfw se ajusta midiendo la  
temperatura de salida y cambiando el  
caudal de vapor. Si cambia el nivel de  
líquido en el acumulador, se ajusta la  
tasa de reciclaje de condensado.

# Performance de IC

2 = new  
1 = old



Problema – debe hacer un *scale down* de 50%

Case 1: toda la resistencia del lado del tubo

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\cancel{\dot{m}_2} \cancel{\lambda_2}}{\cancel{\dot{m}_1} \cancel{\lambda_1}}$$

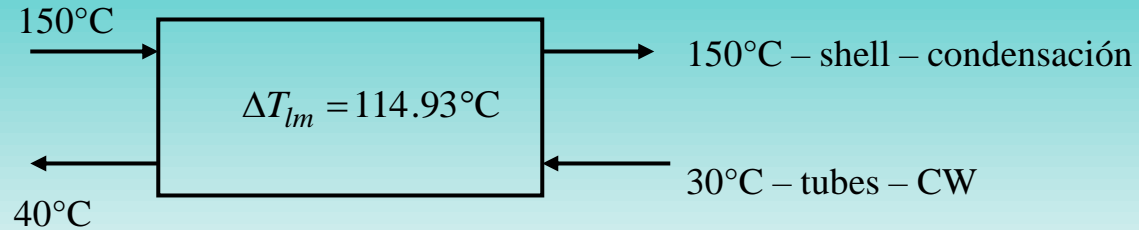
$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\cancel{\dot{m}_{cw,2}} \cancel{C_{p,2}} (T_{cw,out,2} - T_{cw,in,2})}{\cancel{\dot{m}_{cw,1}} \cancel{C_{p,1}} (T_{cw,out,1} - T_{cw,in,1})}$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\cancel{U_2} \cancel{A_2} \cancel{\Delta T_{lm,2}} \cancel{F_2}}{\cancel{U_1} \cancel{A_1} \cancel{\Delta T_{lm,1}} \cancel{F_1}}$$



# Performance de IC

2 = new  
1 = old



problema – debe hacer un *scale down* de 50%

case 1: toda la resistencia del lado del tubo

definir

$$Q = M = 0.5$$

$$Q = \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$Q = M_{cw} \frac{(T_{cw,out,2} - 30)}{(40 - 30)}$$

$$M_{cw} = \frac{\dot{m}_{cw,2}}{\dot{m}_{cw,1}}$$

$$Q = \frac{U_2 \Delta T_{lm,2}}{U_1 (114.93)}$$

$$M = \frac{\dot{m}_{stm,2}}{\dot{m}_{stm,1}}$$

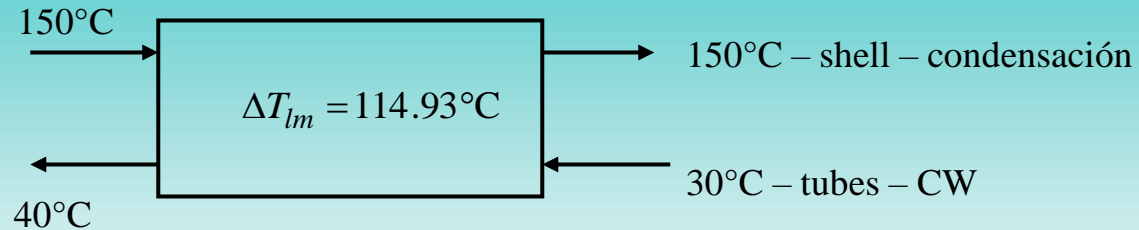
Resistencia esta del lado del tubo

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{\frac{1}{U_1}}{\frac{1}{U_2}} \approx \frac{\frac{1}{h_{i1}} + \frac{1}{h_{o1}}}{\frac{1}{h_{i2}} + \frac{1}{h_{o2}}}$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{\frac{1}{U_1}}{\frac{1}{U_2}} \approx \frac{\frac{1}{h_{i1}}}{\frac{1}{h_{i2}}} = \frac{h_{i2}}{h_{i1}} = M_{cw}^{0.8}$$

# Performance de IC

2 = new  
1 = old



$$Q = 0.5$$

$$0.5 = M_{cw} \frac{(T_{cw,out,2} - 30)}{(40 - 30)}$$

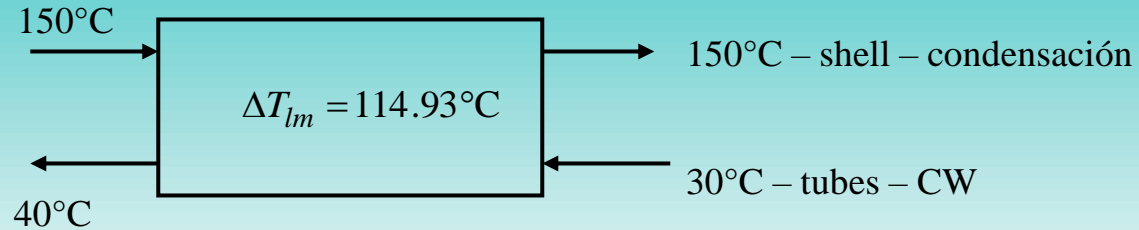
$$0.5 = \frac{M_{cw}^{0.8} (150 - 30) - (150 - T_{cw,2,out})}{(114.93) \ln \left[ \frac{(150 - 30)}{(150 - T_{cw,2,out})} \right]} = \frac{M_{cw}^{0.8} (T_{cw,2,out} - 30)}{(114.93) \ln \left[ \frac{(150 - 30)}{(150 - T_{cw,2,out})} \right]}$$

$$M_{cw} = 0.425$$

$$T_{cw,2,out} = 41.77^\circ\text{C}$$

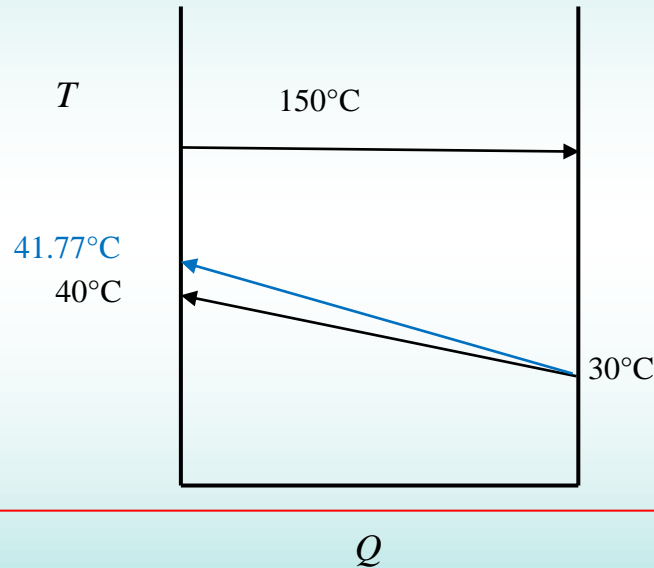
# Performance de IC

2 = new  
1 = old



$$M_{cw} = 0.425$$

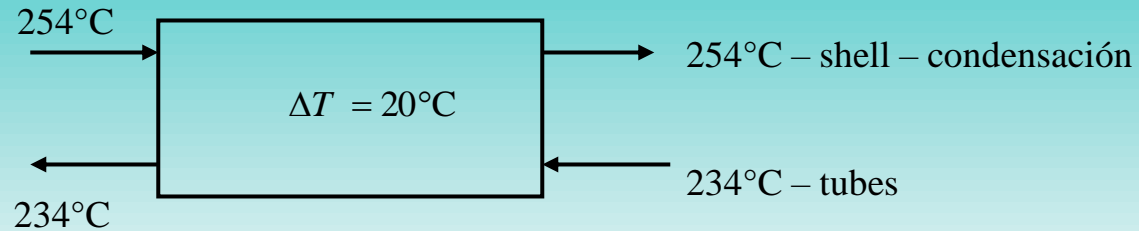
$$T_{cw,2,out} = 41.77^{\circ}\text{C}$$



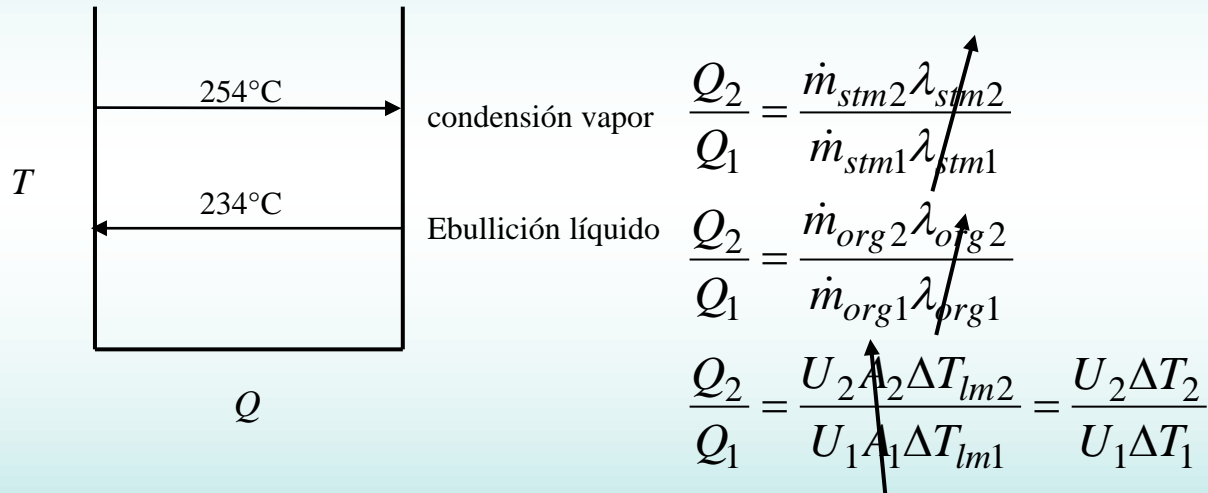
Cuestiones:

1. Resolver el problema anterior si toda la resistencia en el lado de la carcasa.
2. Resolver el problema anterior si hay resistencias iguales en la carcasa base en los lados de la carcasa y el tubo.
3. Resolver el problema anterior si el flujo de 150 ° C es de servicio y el flujo de 30 ° C es un flujo de proceso que debe reducirse en un 50%. Toda resistencia está en el lado del tubo.

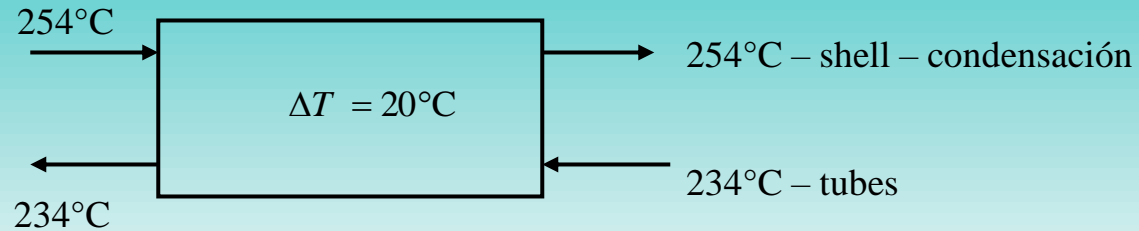
# Performance de reboiler



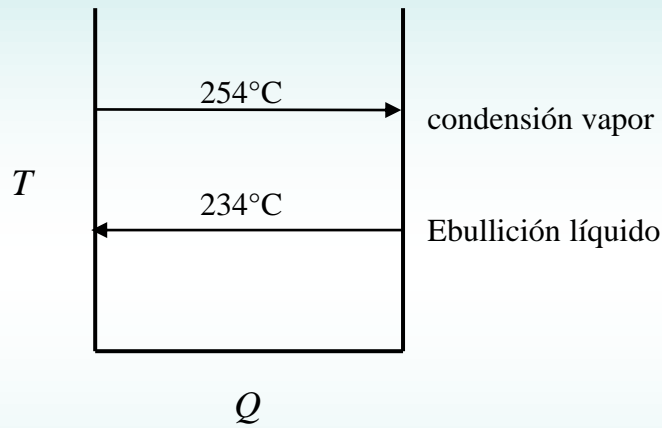
Problema: scale up 20 %



# Performance de reboiler



Problema: scale up 20 %



$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\dot{m}_{stm2}}{\dot{m}_{stm1}}$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\dot{m}_{org2}}{\dot{m}_{org1}} = 1.2$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{U_2 \Delta T_2}{U_1 \Delta T_1}$$

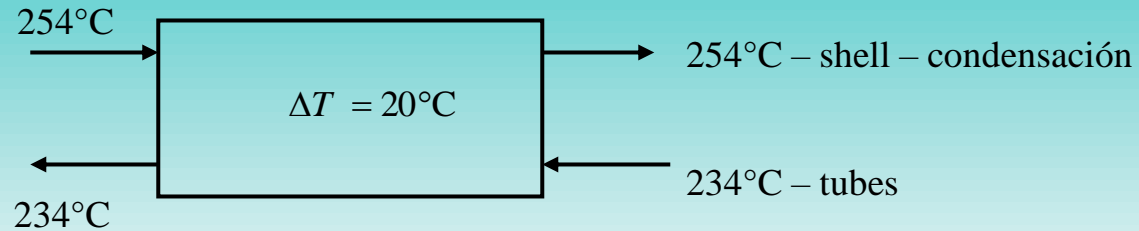
$$1.2 = \frac{\dot{m}_{stm2}}{\dot{m}_{stm1}}$$

$$1.2 = \frac{\dot{m}_{org2}}{\dot{m}_{org1}}$$

$$1.2 = \frac{U_2 \Delta T_2}{U_1 \Delta T_1}$$

**h** no es función de flujo para cambio de fase.

# Performance de reboiler



Problema: scale up 20 %

$$1.2 = \frac{\dot{m}_{stm2}}{\dot{m}_{stm1}}$$

$$1.2 = \frac{\dot{m}_{org2}}{\dot{m}_{org1}}$$

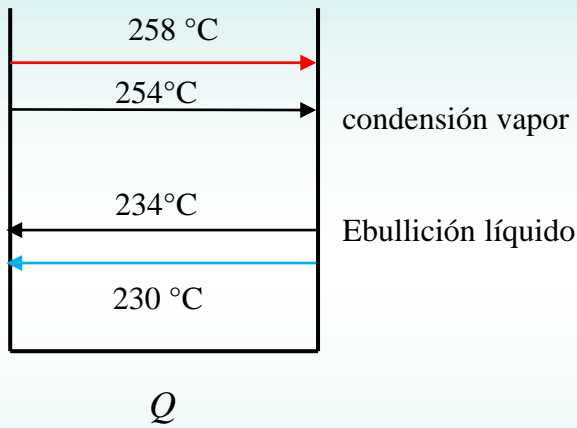
$$1.2 = \frac{U_2 \Delta T_2}{U_1 \Delta T_1}$$

$$1.2 = \frac{\Delta T_2}{20}$$

$$\Delta T_2 = 24$$

$$\Rightarrow T_{stm} = 258^\circ\text{C}$$

$$\text{or } T_{org} = 230^\circ\text{C}$$



# Análisis de sistema utilizando resistencia controlante

$$\frac{1}{U_{01}} = \frac{U_{02}}{U_{01}} = \frac{\frac{1}{\alpha u_{i1}^{0.8}} + \frac{1}{\beta u_{01}^{0.6}}}{\frac{1}{\alpha u_{i2}^{0.8}} + \frac{1}{\beta u_{02}^{0.6}}}$$

Si suponemos una resistencia es dominante, el problema podría simplificarse. Por ejemplo si suponemos que el fluido de transferencia de calor de la coraza esta calentando un gas en los tubos. Esto implica que la resistencia en los tubos es la dominante, dado el bajo coeficiente de película para los gases. Entonces resulta

$$\frac{U_{02}}{U_{01}} = \frac{h_{i2}}{h_{i1}} = \left( \frac{u_{i2}}{u_{i1}} \right)^{0.8}$$

# Caso Base: Ejemplo

Se desea realizar un *scale down* de un 25 % de la capacidad del proceso. Se trata de un intercambiador de calor entre dos corrientes de proceso, que no involucran cambio de fase. Se conoce que las resistencias de la coraza y tubo son aproximadamente iguales antes del *scale down*.

¿Cuánto cambia el coeficiente de transferencia de calor luego del *scale down*?

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{\frac{1}{h_{i1}} + \frac{1}{h_{s1}}}{\frac{1}{h_{i2}} + \frac{1}{h_{s2}}}$$

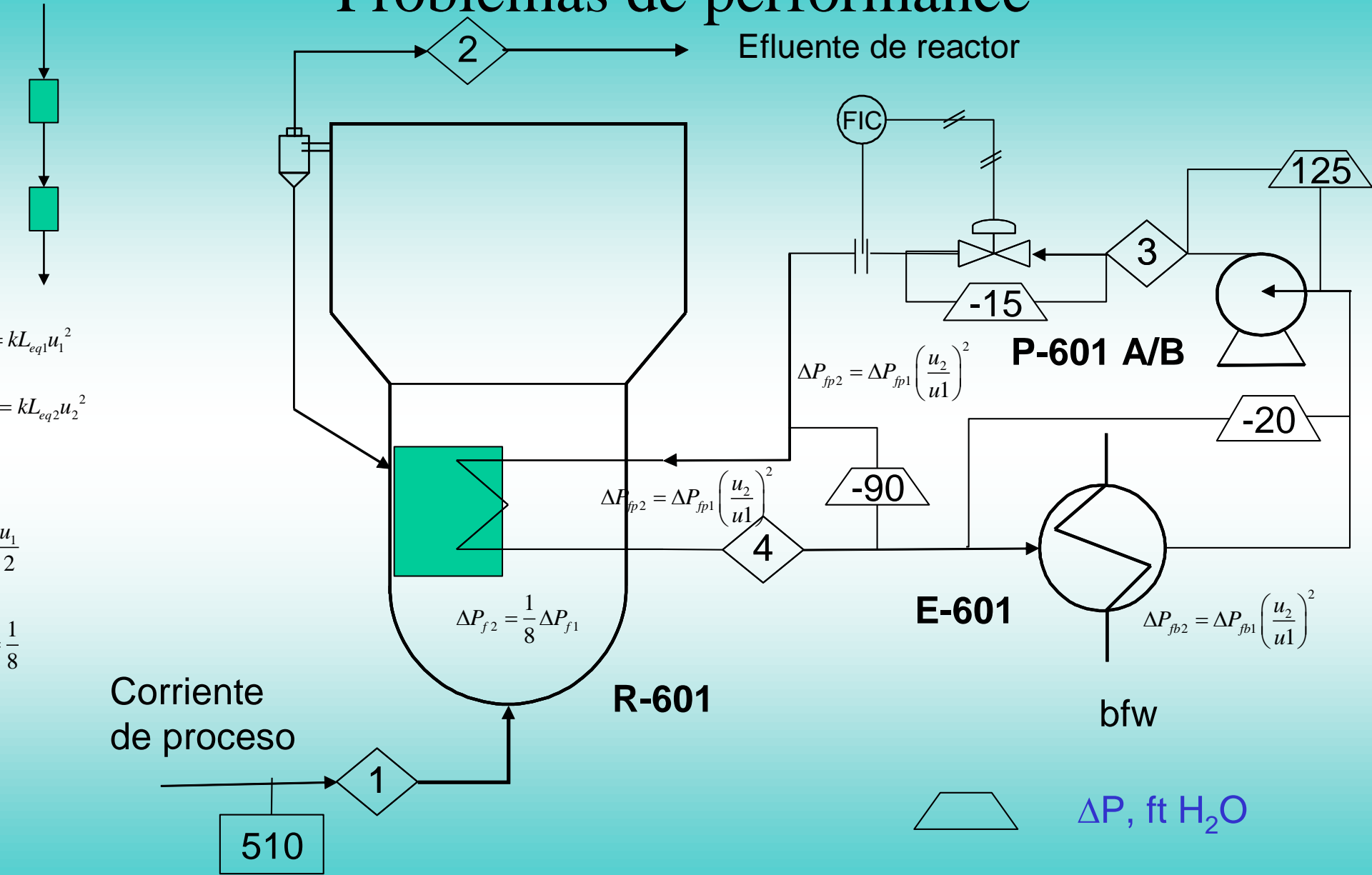


# Performance de Operaciones Unitarias

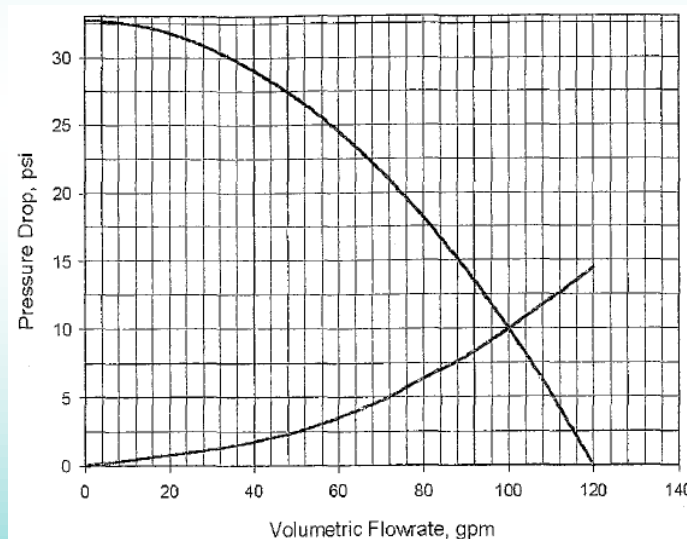
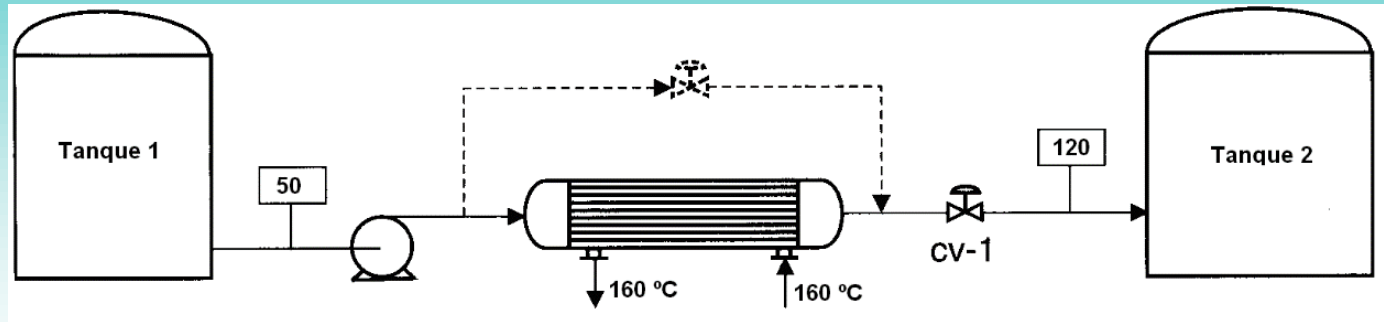
## Proceso Flexible

- Un diseño adecuado es uno donde las condiciones de operación y *performance* del equipamiento pueden ser cambiados durante la vida de la planta o proceso.
- Una compañía para mantenerse en el mercado, debe responder a cambio en el proceso.
- es esencial entender el comportamiento de los equipos encima de su rango de operación y poder evaluar los efectos de condiciones cambiantes del proceso en la *performance* global del proceso.

# Problemas de performance



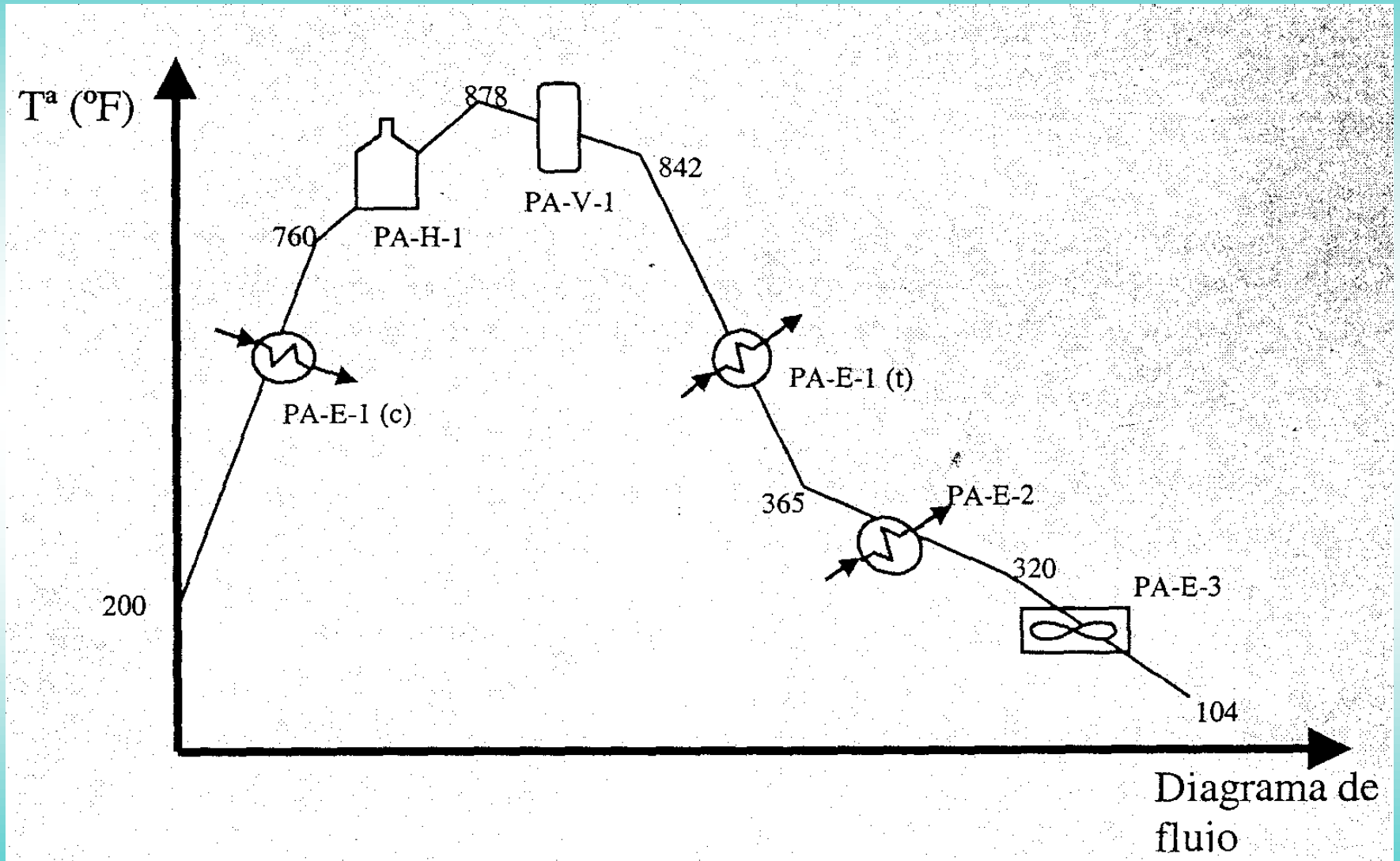
# Problemas de performance



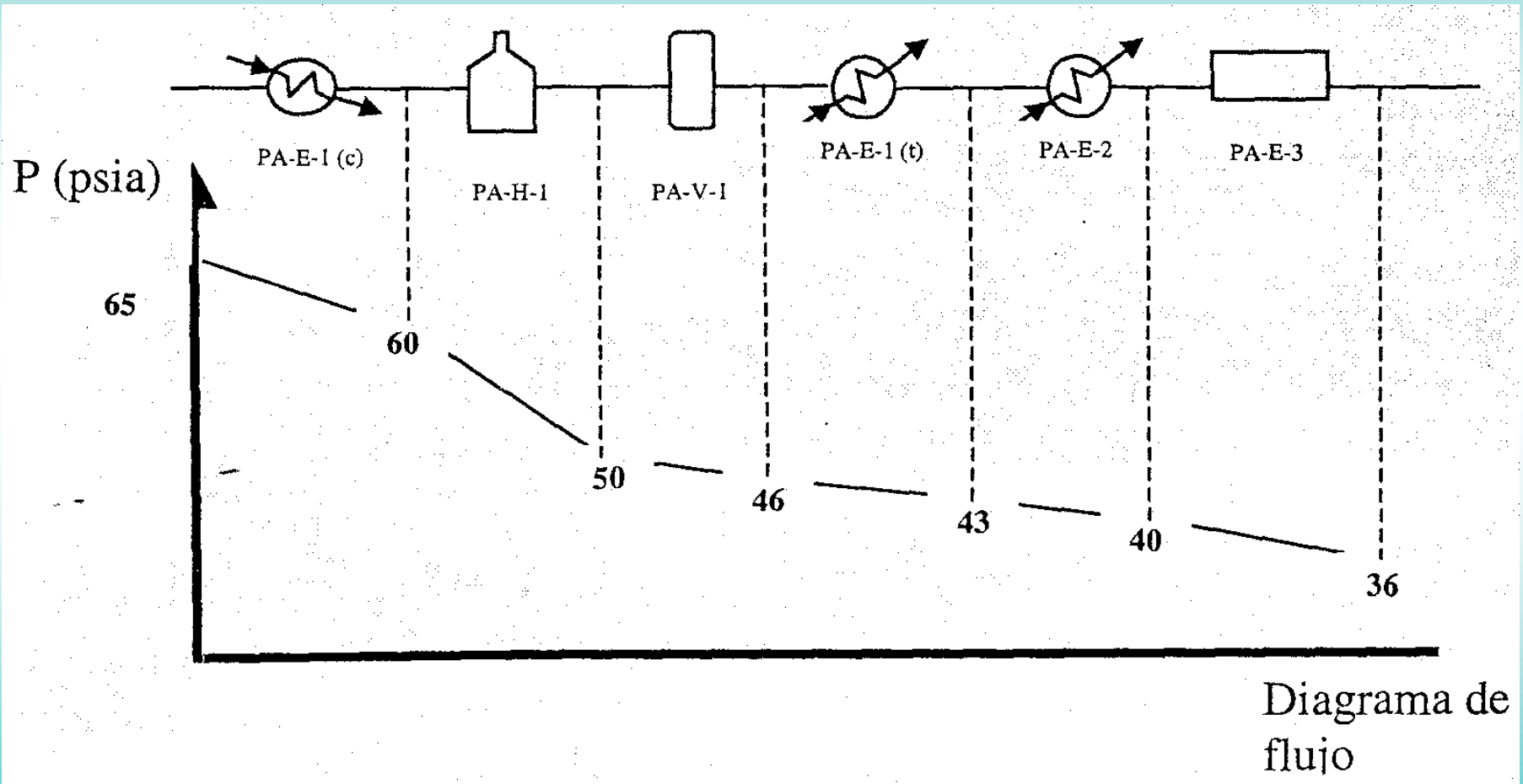
# Seguimiento del proceso

- Durante la operación rutinaria de la planta se toman datos de temperatura y de presión.
- Los perfiles de presión, temperatura y composición son herramientas útiles para realizar el análisis de cada unidad.
- La utilidad de los perfiles es:
  - Visualizar las pérdidas de carga y los saltos térmicos
  - Determinar los posibles ensuciamientos en equipos.
  - Prever posibles cuellos de botella para ampliaciones futuras.
  - Realizar estudios de integración energética.
  - Realizar balances de materia y energía

# Perfil de temperatura



# Perfil de presiones



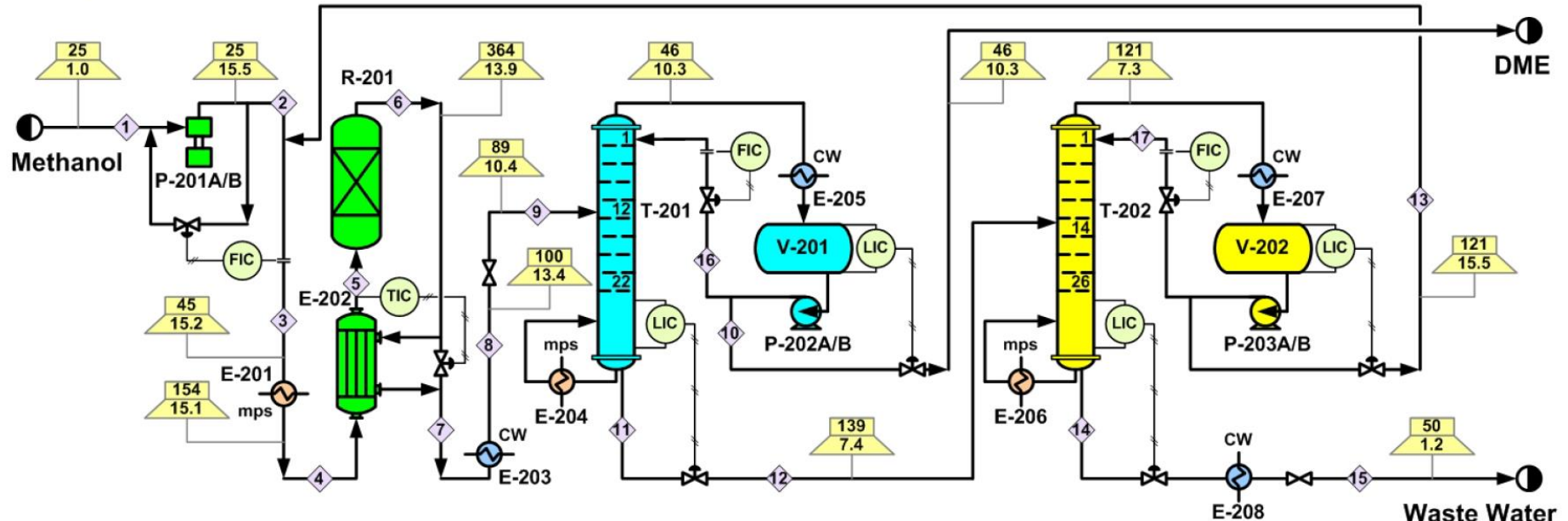
# DME

Deshidratación catalítica de methanol sobre catalysis de zeolita.



P-201A/B	E-201	R-201	E-202	E-203	T-201	E-204	E-205	V-201	P-202A/B	E-206	T-202	E-207	V-202	P-203A/B	E-208
Feed Pump	Methanol Pre-heater	Reactor	Reactor Cooler	DME Cooler	DME Tower	DME Reboiler	DME Condenser	DME Reflux Drum	DME Reflux Pumps	Methanol Reboiler	Methanol Tower	Methanol Condenser	Methanol Reflux Drum	Methanol Pumps	Waste Water Cooler

Temperature (°C)  
Pressure (bar)



Pressure (10.4 bar)	Flowrate (kmol/h)	Mole Fraction	Relative Volatility
DME	130.5	0.398	49.4
MeOH	64.9	0.197	2.2
Water	132.9	0.405	1.0

# Análisis de performance de Sistema

Previamente estudiamos problemas asociados al diseño, síntesis y análisis de un proceso químico nuevo, donde hubo libertad para seleccionar equipo. Ahora estudiaremos problemas asociados con un proceso químico existente. El proceso ya está diseñado.

Los tres factores importantes que deben ser comprendidos en tratamiento de equipos existentes son:

- En el diseño del equipo, se conocen la entrada y la salida deseada, y el equipo está diseñado para garantizar que la salida se pueda obtener desde la entrada.
- En un problema de performance de equipo o sistema, se conocen las especificaciones de entrada y del equipo, y se calcula la salida. Por lo tanto, los cambios están limitados por el rendimiento del equipo existente.
- Cualquier cambio en la operación del proceso no pueden ser considerados aisladamente. El impacto en el proceso total siempre debe ser considerado.



# Análisis de Performance de sistemas

Después de 10 a 30 años o más que se espera que una planta opere, las operaciones de proceso pueden variar. **Una planta rara vez opera en las condiciones de proceso originales proporcionadas en el PFD de diseño.**

Esto se debe a lo siguiente:

- **Diseño / Construcción:** el equipo instalado es frecuentemente sobredimensionado. Esto reduce los riesgos resultantes de las aproximaciones en correlaciones de diseño, incertidumbre en las propiedades de los materiales, etc.
- **Efectos externos:** Alimentación de materiales, especificaciones de productos y flujos, regulaciones ambientales, y costos de materia prima y servicios que con cambiados durante la vida del proceso.

# Análisis de Performance de sistemas

- **Reemplazo de equipo:** nuevos y mejores equipos (catalíticos) pueden reemplazar unidades existentes en la planta.
- **Cambios en la *performance* del equipamiento:** en general la eficiencia disminuye con el tiempo. Por ejemplo, ensuciamiento de la superficie de calentamiento, desarrollo de canalizaciones en las torres empacadas, pérdida de actividad del catalizador, desgaste de los cojinetes de bombas y compresores, etc. Las plantas son paradas periódicamente para mantenimiento para restituir *performance* del equipamiento.

# Análisis de Performance de sistemas

Para ser competitivo, es necesario alterar las condiciones de proceso en respuesta a cambio de condiciones. Por lo tanto, es necesario comprender cómo se desempeña el equipo en su rango operativo completo para cuantificar los efectos de las condiciones cambiantes del proceso en el rendimiento del proceso. El desarrollo provisto trata sobre algunas categorías de problemas de performance.

- **Problemas de diseño:** se presenta el diseño de equipo típico de proceso químico, y se discuten las restricciones y limitaciones del equipo.
- **Problemas predictivos:** un examen de los cambios que tienen lugar para un cambio en la entrada de un proceso o equipo y / o un cambio en la eficiencia de equipo.
- **Problemas de diagnóstico / troubleshooting:** si se observa un cambio en la salidas de procesos (alteración del proceso, sintoma), se debe identificar la causa (cambio en la entrada, cambio en la *performance* del equipo).

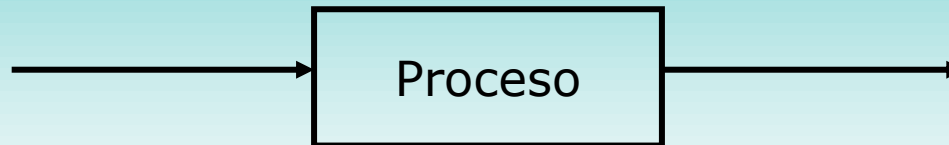
# Análisis de Performance de sistemas

Para ser competitivo es necesario ser capaz de alterar las condiciones de proceso en respuesta a cambio de condiciones.

- **Problemas de sistemas de control:** si un cambio en la salida del proceso es indeseable o un cambio en la entrada del proceso es anticipada, debe identificarse una acción compensatoria que puede tomarse para mantener el rendimiento del proceso.
- **Problemas de debottlenecking:** frecuentemente, un cambio en el proceso es necesario o deseado, tal como un *scale-up* (incremento de la capacidad de producción) o permitir un cambio en especificaciones del producto o la materia prima. La identificación de un equipo que limita la capacidad para realizar el cambio deseado o restricciones de cambio es necesaria.

# Análisis de Performance de sistemas

Relación entre varios tipos de problemas

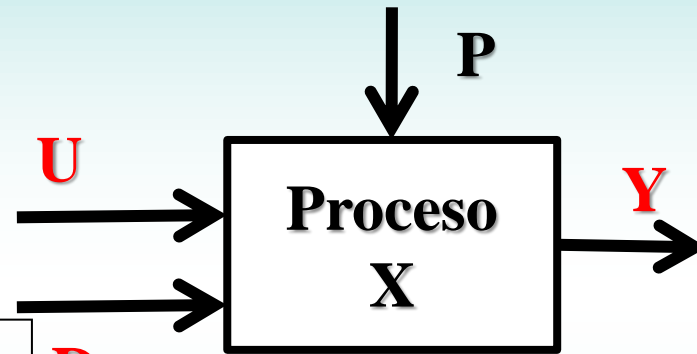


<b>Tipo de problema</b>	<b>Dato</b>	<b>Variable</b>
Diseño	Input y Output	Proceso
Performance	Input y proceso	Output
Troubleshooting	$\Delta$ Output observado	Causado por $\Delta$ Input y/o $\Delta$ output
debottlenecking	$\Delta$ Salida o $\Delta$ Input deseado	Porción que limita el cambio en el proceso

# Proceso químico

## *Problema de diseño*

Conocido  
Incógnita



### Entradas

Alimentación  
Reciclo  
Servicios  
Trabajo  
Calor  
bfw

Proceso  
Equipos

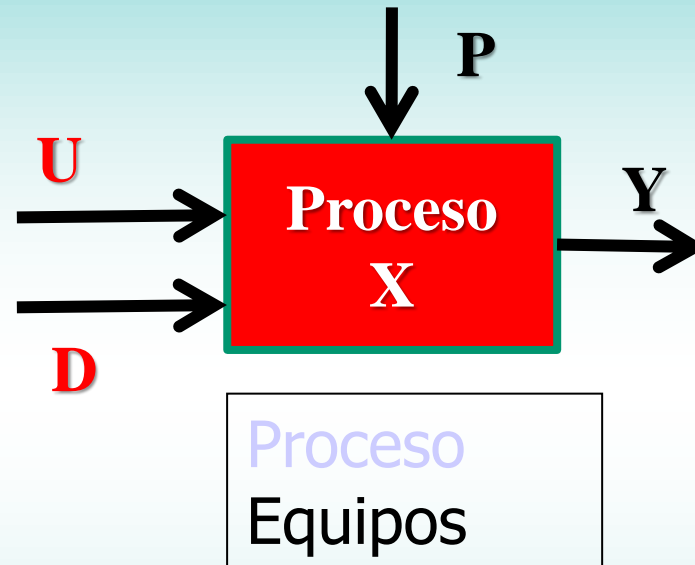
### Salidas

Productos  
reciclo  
Vapor  
Condensado  
Retorno de cw  
Trabajo  
Calor

# Proceso químico

*Problema de performance*

Conocido  
Incógnita



## Entradas

Alimentación  
Reciclo  
Servicios  
Trabajo  
Calor  
bfw

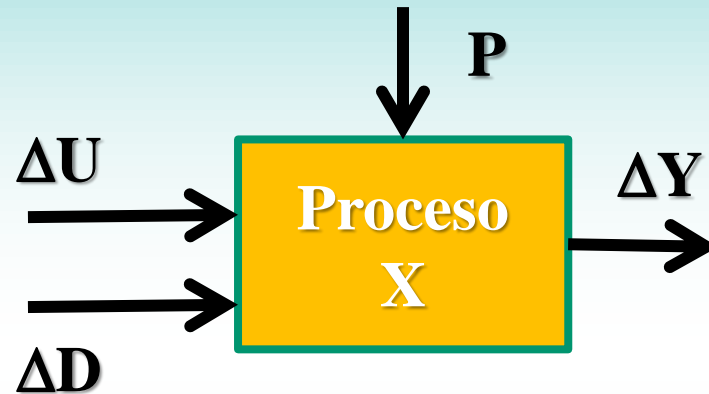
Proceso  
Equipos

## Salidas

Productos  
Reciclo  
Vapor  
Condensado  
Retorno de  
cw  
Trabajo  
Calor

# Proceso químico

## *Problema de diagnóstico de fallas*



Problema de diagnóstico de fallas:

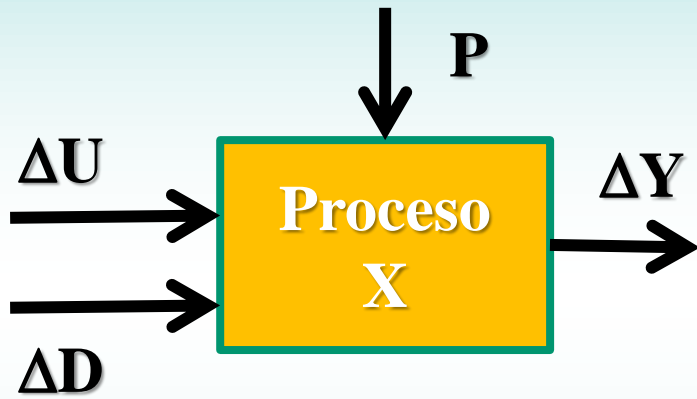
Se observan cambios no anticipados en la salida.

¿Cuál es la causa?

Debe ser un problema con la entrada o en el proceso.



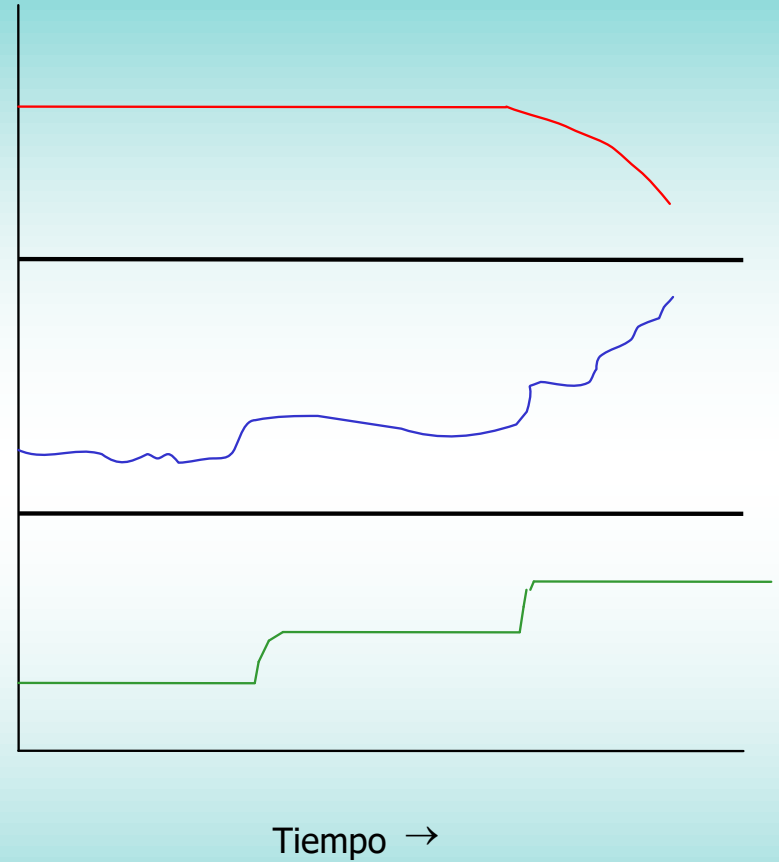
# Problema de diagnóstico de fallas



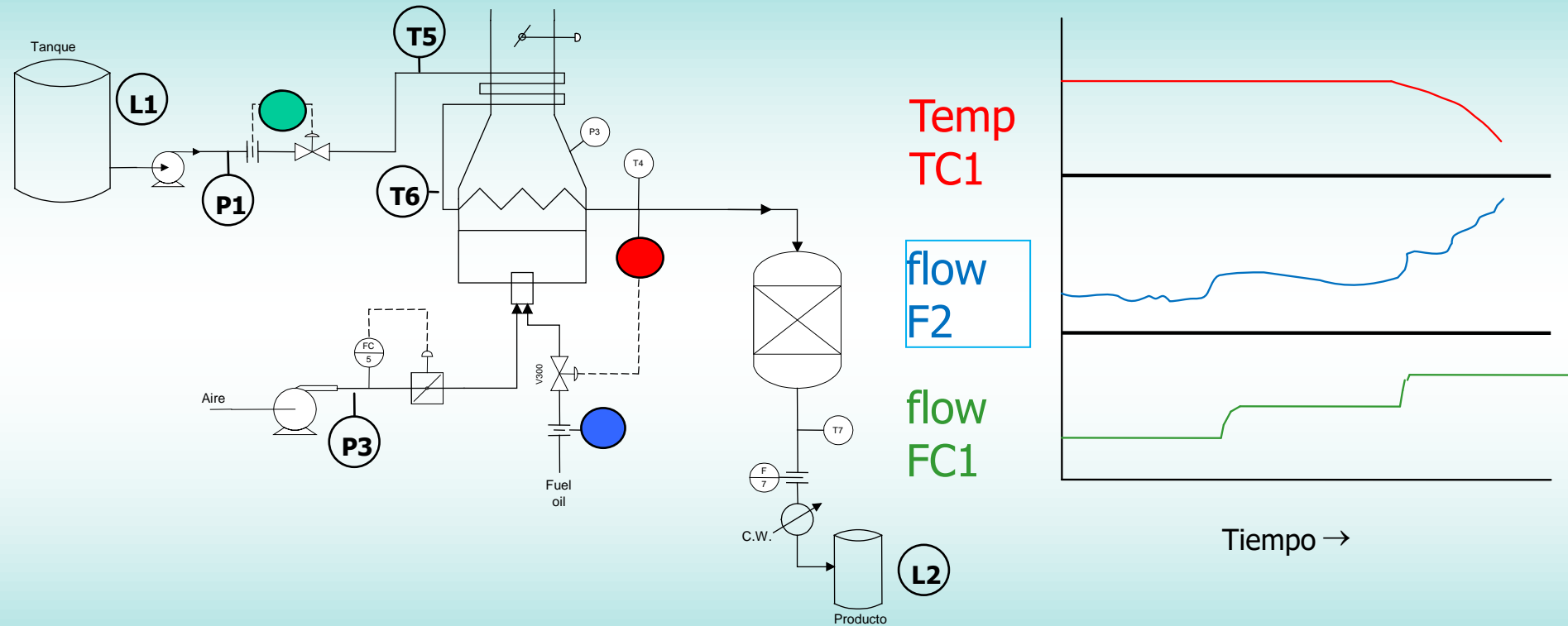
Temp  
TC-1

Flow  
F2

Flow  
FC1

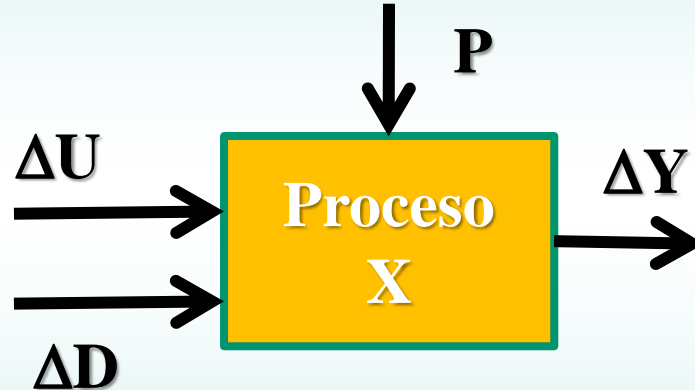


# Problema de diagnóstico de fallas



# Proceso químico

## *Problema de cuello de botella*



Queremos hacer el cambio en la producción (salida).  
¿Qué partes del proceso y / o entrada limitan la capacidad para modificar la entrada?