

	Facultad de Ingeniería - UNJu	DOC N° 2023-IP-00-R-TP-106
	Ingeniería de procesos	Rev.: A
	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS (PFD) – TABLA DE EQUIPOS	Página 2 de 13 Fecha: 19-10-2023

ÍNDICE

1. Objeto	3
2. Alcance	3
3. Normas aplicables.....	3
4. Documentos de referencia.....	3
5. Actividades	4

	Facultad de Ingeniería - UNJu	DOC N° 2023-IP-00-R-TP-106
	Ingeniería de procesos	Rev.: A
	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS (PFD) – TABLA DE EQUIPOS	Página 3 de 13 Fecha: 19-10-2023

1. Objeto

El objeto de este Trabajo Práctico es validar y desarrollar la Tabla de equipos asociados a un Diagrama de Flujo de Procesos y aplicar el Análisis de Performance para analizar el comportamiento de equipos de procesos frente a cambios en las entradas y/o eficiencia del proceso.

2. Alcance

El alcance de Trabajo Práctico es:

- Realizar la Tabla de equipos para un proceso.
- Identificar servicios necesarios para un equipo.
- Conocer y aplicar herramientas del Análisis de Performance para examinar los cambios que tienen lugar para un cambio en las entradas de un proceso y examinar como el cambio en un equipo afecta la performance de otros equipos.

3. Normas aplicables

- **PIP PIE001** *Process flow Diagram, Documentation Guidelines*
- **TEMA**: Standards of the Tubular Exchanger Manufacturers Association, section 1, 9th Edition.
- **ASME**: American Society of Mechanical Engineers, ASME VIII, division 1, ASME B31.3.

Documentos de referencia

Comisión de empresas proveedoras de Servicios de Ingeniería. Alcances de Ingeniería. s.l. : CEPSI.

Gil Chaves, Iván Darío, y otros. 2016. *Process Analysis and Simulation in Chemical Engineering.* s.l. : Springer, 2016.

Hall, Stephen M. 2018. *Rules of Thumb for Chemical Engineers.* 6th Edition s.l. : Elsevier, 2018.

Kleiber, Michael. 2020. *Process Ingeneering.* s.l. : The Gruyter, 2020.

Seider, Warren D., y otros. 2016. *Product and Process Design Principles. Synthesis, Analysis and Evaluation.* 4th edition. s.l. : Wiley, 2016.

Turton, Richard y Shaeiwitz, Joseph. 2017. *Chemical Process Equipment Design.* s.l. : Prentice Hall, 2017.

Turton, Richard, y otros. 2018. *Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes.* 5th edition. s.l. : Prentice Hall, 2018.

Walas, Stanley, y otros. 2012. *Chemical Process Equipment, Selection and design.* 3th Edition s.l. : Elseiver, 2012.

	Facultad de Ingeniería - UNJu	DOC N° 2023-IP-00-R-TP-106
	Ingeniería de procesos	Rev.: A
	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS (PFD) – TABLA DE EQUIPOS	Página 4 de 13 Fecha: 19-10-2023

4. Actividades

1. Benceno a presión atmosférica y 41 °C se almacena en un tanque cuyo nivel de líquido está 15 ft por encima de succión de una bomba. La bomba proporciona un aumento de presión de 50 psi para transportar el fluido hasta un tanque destino cuyo nivel de líquido es de 25 ft por encima del nivel de la bomba. La línea de succión tiene una longitud de 20 ft y es de 2 pulgadas, SCH 40. La línea de impulsión de la bomba tiene una longitud de 40 pies hasta el destino y es de 1,5 pulgadas SCH 40. El caudal de benceno es de 9,9 lb/s. Realizar las siguientes actividades:

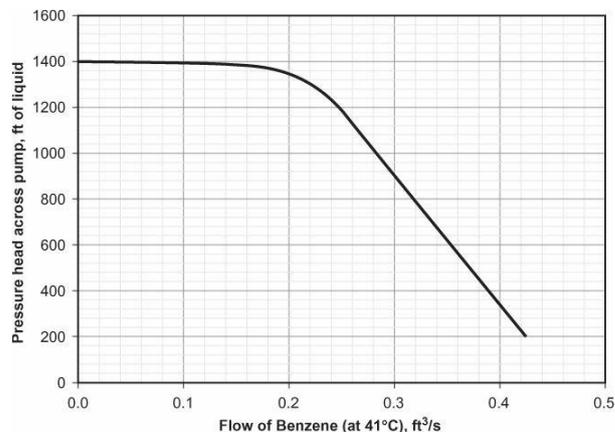


Figura 1: Curva de performance

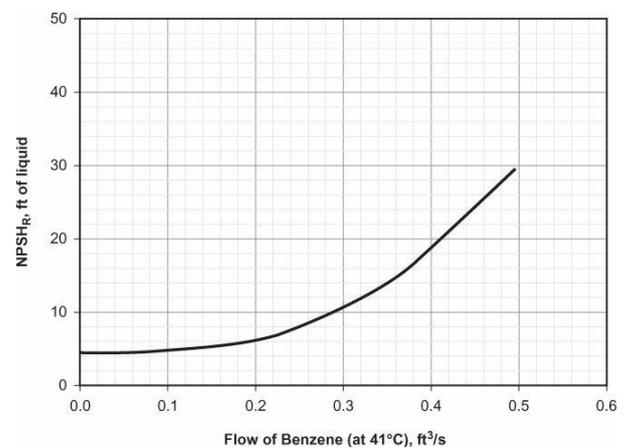


Figura 2: Curva de NPSHr

- a) Derive una expresión para el NPSH en unidades de columna de fluido y la curva del sistema en función del caudal.
 - b) Localice el punto de operación en ambos gráficos en Figura 1 y Figura 2.
 - c) Determine la caída de presión a través de la válvula en el punto de operación
 - d) Determine el caudal máximo que puede circular por el sistema antes de que la cavitación se convierta en un problema.
 - e) Determine el máximo scale-up posible que se puede conseguir con una bomba, dos bombas en serie y dos bombas en paralelo.
2. El producto de fondo de una columna de destilación es bombeado a través de dos intercambiadores de calor para recuperación de energía y entonces enviado a un tanque de almacenamiento atmosférico. El sistema es mostrado en la Figura 3. La curva de la bomba para P-2904A/B es mostrado en la Figura 4. En las condiciones de diseño el flujo a través de la bomba es 5 L/s, la presión en T-2903 es 200 kPa y la pérdida de energía por fricción para el fluido de proceso a través de la línea y de los intercambiadores de calor, pero excluyendo la válvula de control, es 250 kPa. Para este caso se puede asumir que la diferencia de altura entre el nivel del líquido en T-2903 y TK-2901 es despreciable.
 - a) Determine la caída de presión a través de la válvula de control en las condiciones de diseño.
 - b) Presentar la curva del sistema, la curva de la bomba y la caída de presión a través de la válvula de control.
 - c) Bajo las condiciones de diseño, los 250 kPa de caída de presión friccional es distribuido como se muestra en la Tabla 1. Determine cual es la presión del líquido que ingresa a E-2904 y E-2905 a una condición de scale-up de 10% el caudal del caso base.

- d) Presentar el perfil de presiones para el caso base y para el caso scale-up.
- e) Determine el máximo scale up que puede lograrse para este sistema.

Tabla 1. Caída de presión

Equipo o tubería	Caída de presión al caudal de diseño (kPa)
Tubería de succión	5
Tubería de P-2904 a CV	10
Tubería de CV a E-2904	10
E-2904	50
Tubería de E-2904 a E-2905	25
E-2905	50
Tubería de E-2905 a TK-2901	100

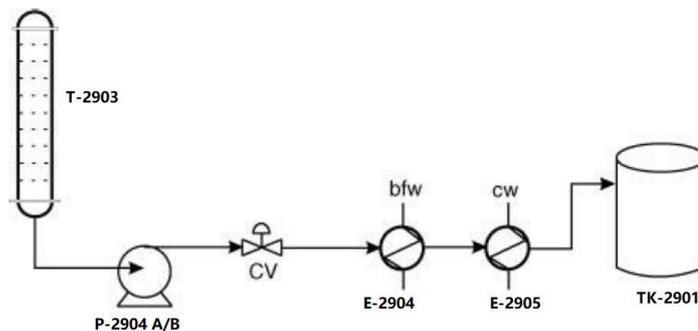


Figura 3. Curva de la bomba P-2904

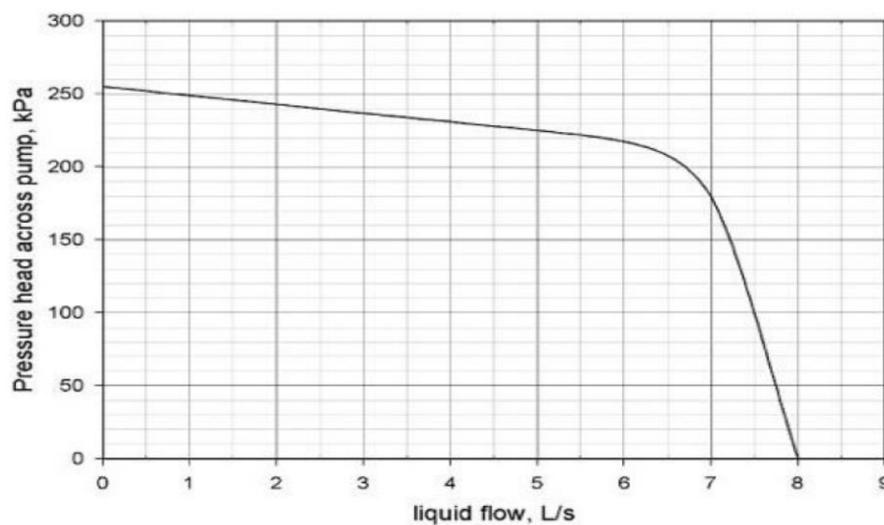


Figura 4. Curva de la bomba P-2904

3. En el diagrama de la **Figura 5**, la presión de la corriente P8 debe mantenerse en 200 kPa. Las corrientes 1 y 4 provienen de un tanque de almacenamiento, por lo tanto, la presión se mantiene constante en 100 kPa. También para el caso base se conoce que $P_3 = 225$ kPa, $P_5 = 375$ kPa, $P_6 = 250$ kPa y el flujo másico de la corriente 1 es 15500 kg/h.

	Facultad de Ingeniería - UNJu	DOC N° 2023-IP-00-R-TP-106
	Ingeniería de procesos	Rev.: A
	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS (PFD) – TABLA DE EQUIPOS	Página 6 de 13 Fecha: 19-10-2023

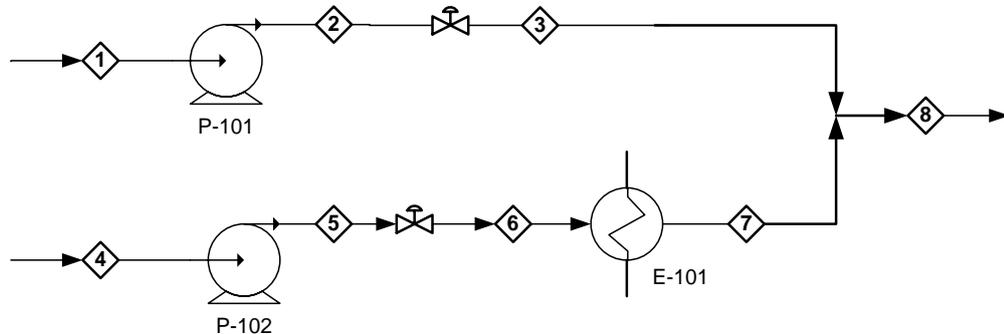


Figura 5. Proceso de mezcla previa.

Las curvas de las bombas están dadas por las siguientes ecuaciones (ΔP en kPa y el flujo en Mg/h).

$$\Delta P_1 = 340 - 0.913F_1 + 0.0535F_1^2 - 0.0101F_1^3$$

$$\Delta P_2 = 312 - 1.924F_2 + 0.0302F_2^2 - 0.01124F_2^3$$

- a) Calcular F_4 y ΔP_{23} para esta situación.
 - b) Representar la curva de la bomba y la curva del sistema.
 - c) Representar la caída de presión en la válvula de control.
4. La corriente de destilado de una columna de destilación es reciclada al proceso a razón de 35 m³/h (densidad del fluido 1000 kg/m³). El destino de la corriente de reciclo se encuentra en una localización de 3 m debajo del nivel de fluido en el tanque de reflujo. La corriente de reciclo es impulsada por medio de una bomba para vencer la pérdida de energía friccional a través de la línea de 20 kPa para el caudal de operación y alcanzar la presión de la corriente con la cual se mezcla (250 kPa por encima de la presión de la corriente destilado). Posteriormente es calentado desde 90°C a 120°C, circulando a través de los tubos de un intercambiador de calor de coraza y tubos, utilizando vapor de baja presión a 140°C.

Se desea aumentar la capacidad de la planta en un 15%. Se ha determinado que la columna de destilación puede ser modificada manteniendo la corriente de reciclo a una temperatura de 90°C. También se ha determinado que, con los cambios requeridos en la sección de alimentación al proceso, la corriente de reciclo puede estar entre 119°C y 121°C para satisfacer las condiciones de ingreso al reactor.

- a) Determine si para el scale up, puede satisfacerse el criterio de temperatura.
- b) Determine si la bomba puede absorber el scale-up, considere la curva de la bomba presentado en la siguiente figura.
- c) Se sugiere que dado que una temperatura más baja de la corriente de reciclo podría reducir la velocidad de reacción, la bomba en la sección de alimentación podría ser usada para incrementar la presión del reactor y por lo tanto, la velocidad de reacción ¿cuál es su opinión respecto a esta sugerencia?

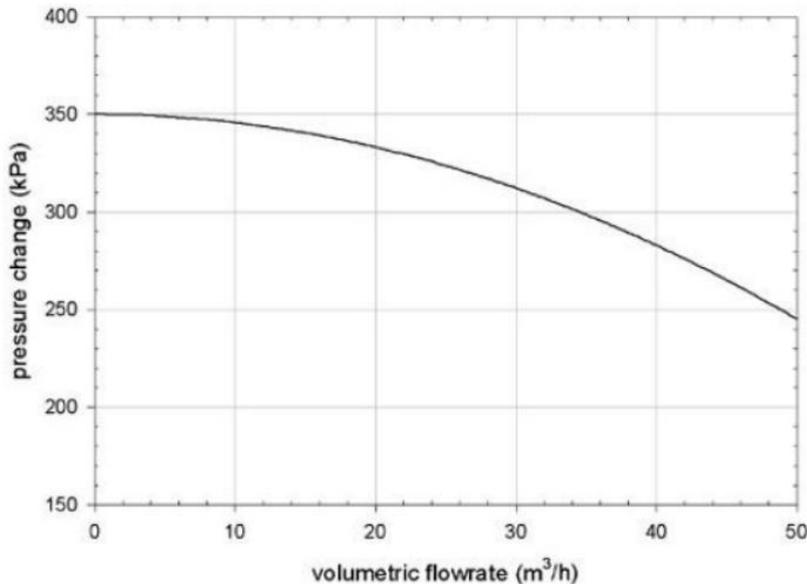


Figura 6 Curva de la bomba – caso reciclo destilado

5. Teniendo en cuenta el PFD dado en la Figura 7 y considerando los siguientes datos de caída de presión:

- Corriente 1, 4, 6 y 7 despreciable.
- Corriente 2: 40 kPa a 4 Mg/h.
- Corriente 3: 30 kPa, independiente del flujo.
- Corriente 5: 20 kPa a 100 Mg/h.
- E-101: 70 kPa a 4 Mg/h.
- R-101: 40 kPa, independiente del flujo.

Curva del compresor

$$\frac{P_{out}}{P_{int}} = 4.015 + 5.264 \times 10^{-3} F - 1.838 \times 10^{-4} F^2$$

Curva de la bomba

$$\Delta P = 500 + 4.662F - 1.805F^2$$

donde P esta dado en kPa y F en Mg/h. El tanque TK-102 es controlado para que la presión sea siempre 101 kPa. La presión de descarga del compresor es 101 kPa y suponiendo flujo es turbulento, responder

- a) Si la válvula está cerrada, el flujo del compresor es de 100 Mg/h, ¿Cuál es la presión en el tanque de almacenamiento TK-101?
- b) Si la presión de TK-101 se mantiene constante a la presión calculada en el punto a), ¿Cuál es el caudal máximo de líquido cuando la válvula está completamente abierta?
- c) ¿Cuál es el flujo del compresor cuando la válvula está totalmente abierta?

	Facultad de Ingeniería - UNJu	DOC N° 2023-IP-00-R-TP-106
	Ingeniería de procesos	Rev.: A
	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS (PFD) – TABLA DE EQUIPOS	Página 8 de 13 Fecha: 19-10-2023

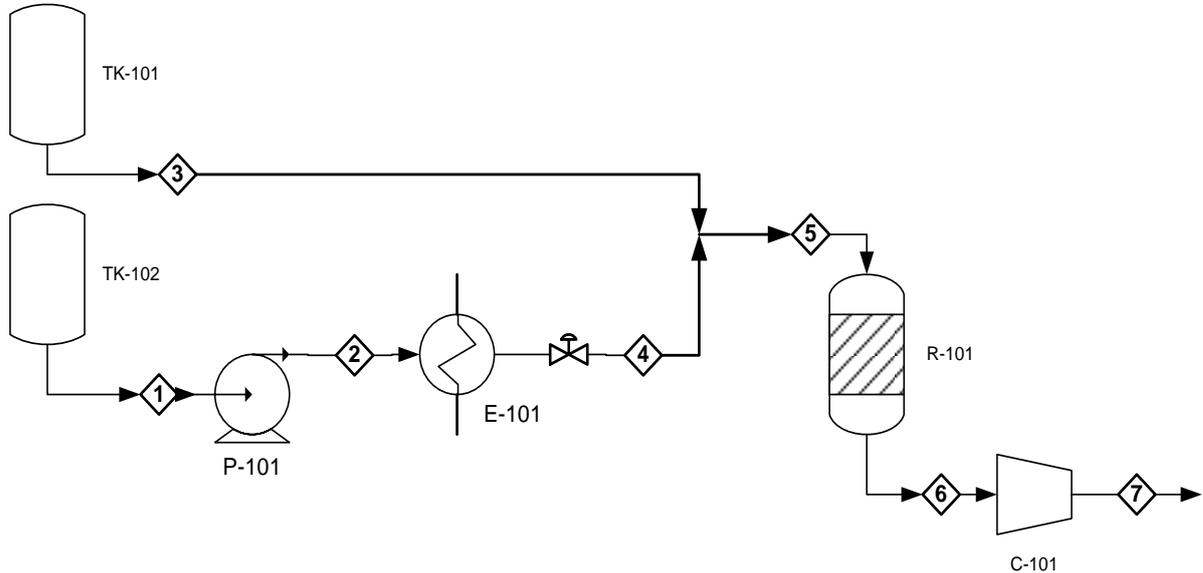


Figura 7. Sección de alimentación y reacción.

6. En el lazo de remoción de calor utilizando Dowtherm A, dado en la Figura 8, los intercambiadores de calor tienen un área total de 25 m², y pueden conectarse en serie o en paralelo utilizando una bomba.

Determinar:

- La configuración que provee el máximo scale-up.
- La temperatura de entrada y salida del lazo de remoción de calor para el máximo scale-up.
- Repetir el análisis para el caso en que se utilice agua de enfriamiento en lugar de bfw.

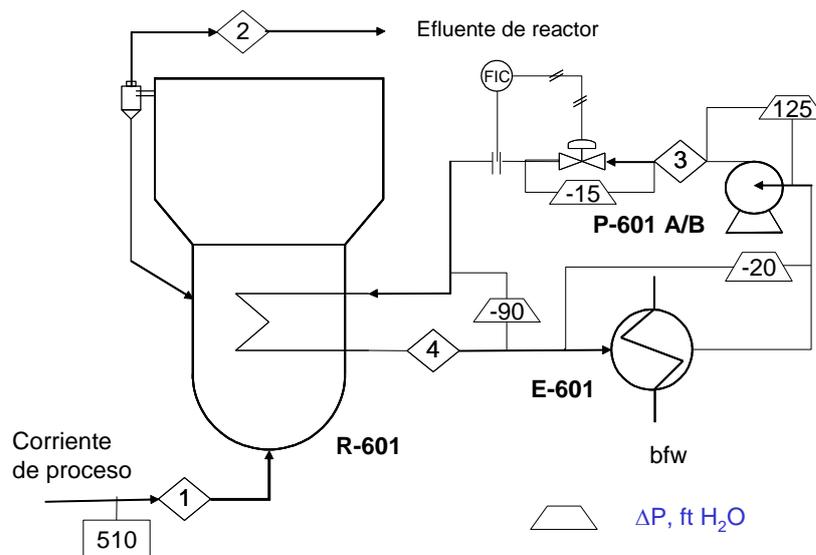


Figura 8. Lazo de remoción de calor de un reactor.

7. Para aumentar la producción de vapor en un 15 %, a partir de la situación actual, Figura 9, y con los datos dados en la Tabla 2, se pide a Ud. que determine las nuevas condiciones de entrada a la caldera.

- f) Determinar la T_{in} y T_{out} si se utiliza 55300 kg/h de aceite liviano (densidad 750 kg/m³, $c_p=2.48$ kJ/(kg °C)).
- g) Determinar la cantidad de aceite liviano requerido y T_{out} si T_{in} es de 325 °C.
- h) Determinar la cantidad de aceite liviano requerido y T_{in} si T_{out} es de 300 °C.
- i) Determinar el coeficiente de transferencia de calor para T_{in} de 325 °C, T_{out} de 293 °C, flujo de vapor de 1650 kg/h.

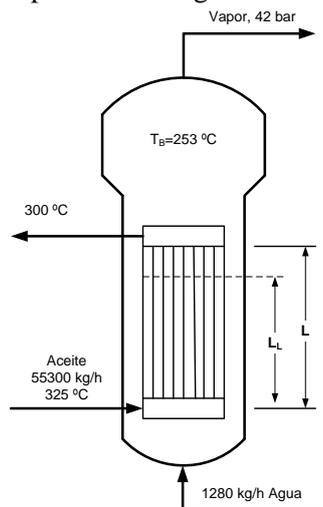


Figura 9: Caldera

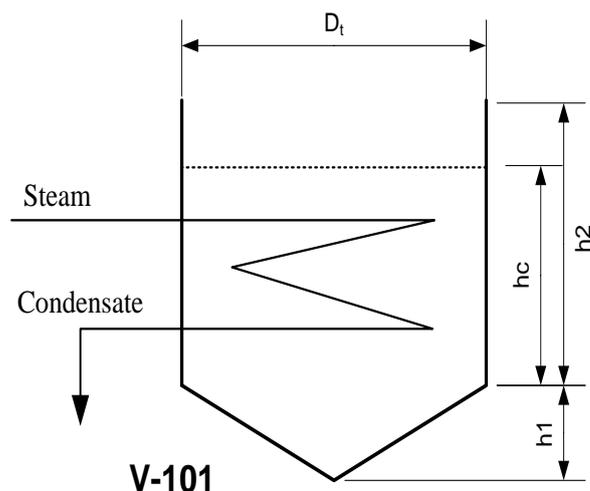
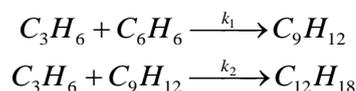


Figura 10: tanque de calentamiento con serpentín

Tabla 2: Datos par estudio de performance de caldera

	Flujo aceite (Mg/h)	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)
Actual	55.3	325	300
Caso a	55.3		
Caso b		325	

8. En el reactor de producción de cumeno (Figura 11), cuyo volumen útil es de 7.49 m³, con el propósito de mejorar la performance se estudia reemplazar el catalizador por uno nuevo. En este proceso se puede considerar que las reacciones involucradas son las siguientes:



La cinética de ambas reacciones químicas está dada en la siguiente tabla:

Tabla 3. Datos cinéticos para producción de cumeno.

Catalizador	Actual	Nuevo
Velocidad de reacción [mol/L s]		
Reacción 1	$r_1 = k_1 C_p C_b$	$r_1 = k_1 C_p C_b$
Reacción 2	$r_2 = k_2 C_p C_c$	$r_2 = k_2 C_p C_c$
Constante de velocidad [L/mol s]		
Reacción 1	$k_1 = 3500 e^{\frac{-6680}{T}}$ (T en K)	$k_1 = 2.8 \cdot 10^7 e^{\frac{-12530}{T}}$
Reacción 2	$k_2 = 290 e^{\frac{-6680}{T}}$	$k_2 = 2.32 \cdot 10^9 e^{\frac{-17650}{T}}$

- a) Defina la selectividad, analizar teniendo en cuenta las variables o parámetros como la T, P, k₀, E_{act} y fracción molar para determinar la tendencia que resulte de cambios en las siguientes variables.
- i. Aumento de la temperatura del sistema.
 - ii. Aumento de la presión del sistema.
 - iii. Aumento de la fracción molar de benceno.
 - iv. Aumento de la fracción molar de propileno.
 - v. Aumento de la fracción molar de propano.
 - vi. Aumento de la fracción molar de cumeno.
- b) Si se utiliza el nuevo catalizador manteniendo los flujos y las condiciones
- i. Dar la tabla del proceso.
 - ii. Compare la producción de cumeno y DIPB con el nuevo catalizador y el catalizador viejo.
- c) Estudiar la variación de flujo molar (manteniendo la composición).
- d) Representar la selectividad y producción de cumeno en función de la temperatura.

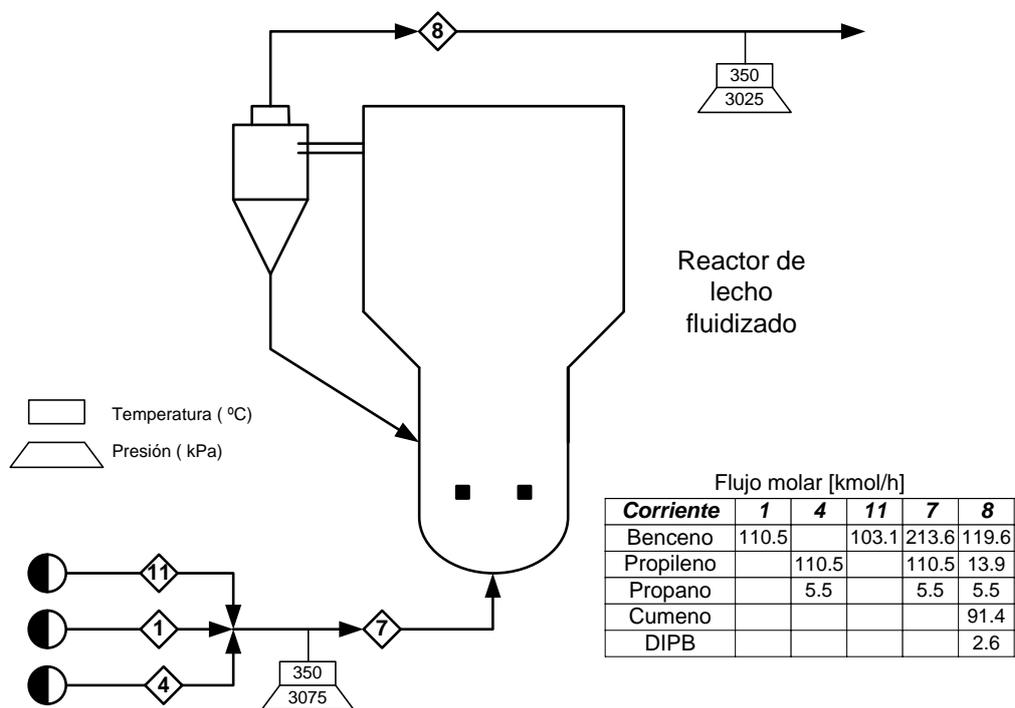


Figura 11. Diagrama de flujo de producción de cumeno.

9. Considere el lazo de sal fundida para la eliminación del calor de reacción en la producción de anhídrido ftálico, cuya sección del reactor con el sistema de enfriamiento se muestra en la Figura 12. Para el flujo de salmuera se utiliza P-702 (tiene un suplente) cuya curva de performance se muestra en la Figura 13. En la coraza del intercambiador E-702 se produce vapor de alta presión a 254 °C a partir de bfw. El reactor opera a 360 °C. La resistencia controlante está del lado donde ocurre la reacción. En la Tabla 4 se presenta información de corrientes vinculadas al lazo de remoción de calor.

Es necesario reducir la escala de producción de anhídrido ftálico en un 50 %. Asumir que los efectos de calor sensible son despreciables.

- Representar el punto de operación para una reducción de la producción del 50 %.
- Estimar el flujo y las temperaturas de entrada y salida de sales fundidas del reactor cuando se reduce la producción en un 50 %.

Tabla 4. Resumen datos de corriente.

N° Corriente	8	9	18
Temperatura (°C)	263	360	350
Presión (bar)	2.25	2.00	3.00
Caudal másico (t/h)	157,07	157,07	1624,72

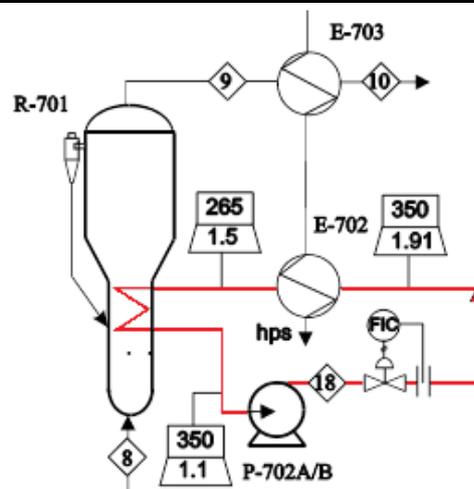


Figura 12. Diagrama de flujo de proceso de lazo de remoción de calor.

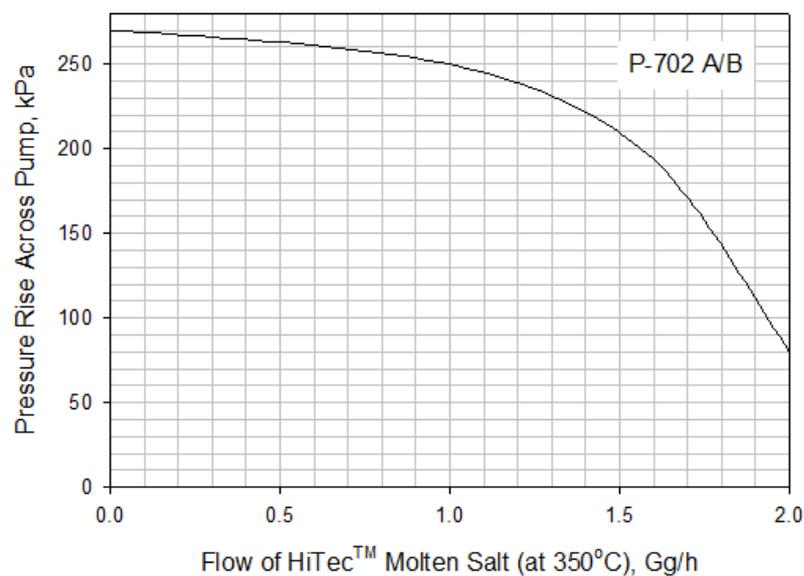


Figura 13. Curva de bomba de lazo de remoción de calor.

Presión (bar)	2.25	2.00	3.00
Caudal másico (t/h)	157,07	157,07	1624,72

	Facultad de Ingeniería - UNJu	DOC N° 2023-IP-00-R-TP-106
	Ingeniería de procesos	Rev.: A Página 12 de 13
	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS (PFD) – TABLA DE EQUIPOS	Fecha: 19-10-2023

10. Diseñe un sistema ejetor de vapor para la torre de destilación de ácido acrílico mostrado en la Figura 14. Dispone de vapor a 180°C y 1000 kPa , y la corriente de aire de sale del sistema (*vent gas*) debe ser entregado en el límite de batería a una presión de 120 kPa . El diseño debe considerar:

- Un ejetor de simple etapa.
- Ejetor de dos etapas no condensable.

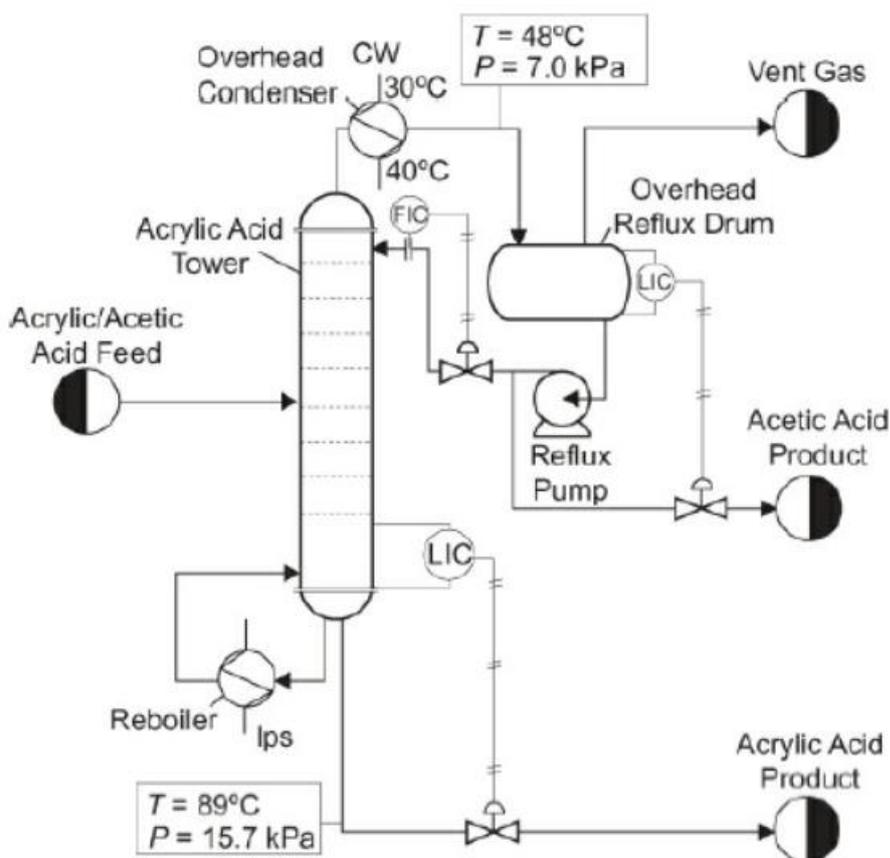


Figura 14: Diagrama de flujo de proceso para torre de separación de ácido acrílico.

11. Una columna de destilación utiliza un ejetor de vapor para remover aire a 300 kg/h en el condensador de tope que opera a 27.5 kPa de presión y 50°C . El ejetor de simple etapa utiliza 1042 kg/h de vapor a 180°C y 1000 kPa . Puede asumir que la corriente de vapor y aire estará parcialmente condensado en el intercambiador de calor que opera a una presión de entrada de 110 kPa .

Sin embargo, durante la operación se ha notado que la corriente de aire que sale del sistema ha incrementado y la caída de presión en el tope de la columna es 36.7 kPa , en lugar del valor de diseño 27.5 kPa .

- Estime el caudal de aire que sale de la torre asumiendo que el caudal y la presión de vapor es la misma que en las condiciones de diseño.
- Valide si es posible incrementar el caudal de vapor a 1000 kPa reduciendo la presión de la columna al valor de diseño 27.5 kPa

	Facultad de Ingeniería - UNJu	DOC N° 2023-IP-00-R-TP-106
	Ingeniería de procesos	Rev.: A
	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS (PFD) – TABLA DE EQUIPOS	Página 13 de 13 Fecha: 19-10-2023

12. Para el video del enlace <https://www.youtube.com/watch?v=1YXI85A5hxw&t=32s> del proceso de separación de etilbenceno del estireno realice las siguientes actividades:

- a) Realice una descripción del proceso que incluya un PFD del caso de estudio.
- b) Analice y resuelva el problema de diseño del sistema de separación utilizando el método riguroso de Hysys.
- c) Realice un estudio de scale-up del 20 %.
- d) Realice un estudio de scale-down del 20 %.
- e) Analice el efecto de una disminución de la presión en el fondo de la columna de destilación sobre la temperatura en el fondo, la presión en el tope, la temperatura en el tope y las inundaciones. Suponga que los flujos, temperatura y presión de las corrientes de servicio se mantienen constante.
- f) Analice la sensibilidad de los parámetros para poder operar dentro de la región de operación para la columna de separación. Muestre la región y operación y analice la causa de la inundación, weeping, canalizaciones, etc.

13. Para el Diagrama de flujo de proceso propuesto en 2023-IP-00-R-TP-105 de su proceso de producción seleccionado:

- a. Dimensionar los equipos.
- b. Proponer materiales de los equipos.
- c. Realizar el documento “Listado de Equipos” conforme alcance presentado en (Comisión de empresas proveedoras de Servicios de Ingeniería).
- d. En el Listado anterior identifique que equipos requieren de aislación térmica.

Presentar los documentos necesarios en forma independiente al documento del Trabajo Practico. Los mismos deben ser codificado conforme lo expuesto en el documento 2023-IP-00-G-LD-101_A.xlsx