

### Problema 1

En la Figura 1 se observa el diagrama de flujo de un ciclo frigorífico simple con una válvula de expansión y una etapa de compresión.

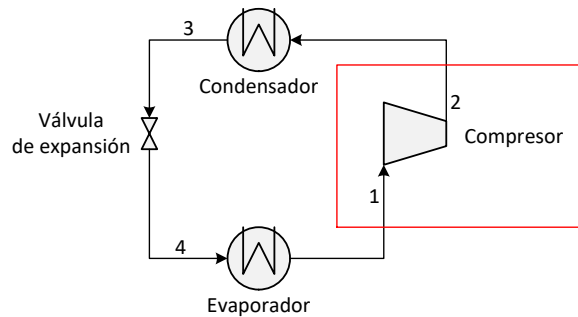


Figura 1. Diagrama de flujo

Como primera aproximación el objetivo de este trabajo es implementar la resolución del compresor que se encuentra en el recuadro rojo de la Figura 1 para posteriormente ampliar la resolución al ciclo en su totalidad.

El fluido de trabajo seleccionado es una mezcla **Propano-nButano (0.6/0.4)** y por conveniencia se utiliza la ecuación cubica de estado de **Peng-Robinson** para el cálculo de las propiedades fisicoquímicas.

### Problema 1a

La presión de operación del evaporador es de **1.7 bar** por lo que la temperatura de la corriente 1 (salida del evaporador) corresponde a su temperatura de saturación (temperatura de rocío).

Para poder comenzar con la resolución de cualquier equipo, según la filosofía modular-secuencial, resulta necesario conocer todas las propiedades de sus corrientes de entrada. Por lo tanto, antes de resolver el módulo del compresor se debe obtener la temperatura de la corriente #1.

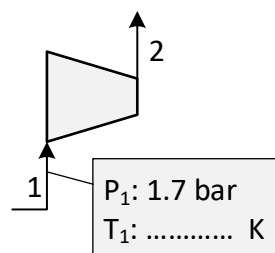
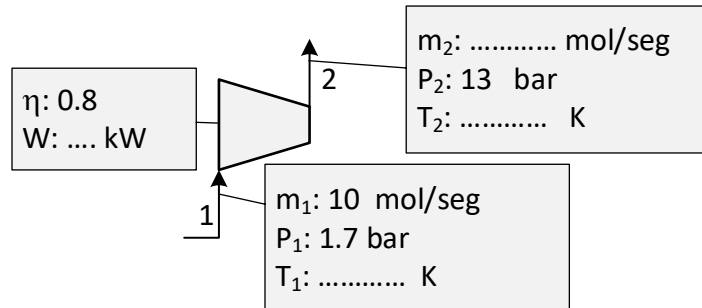


Figura 2. Condiciones de entrada al compresor

**Problema 1b**

Una vez conocidas las condiciones de entrada al compresor se puede calcular sin problemas la salida de este. En la Figura 3 se muestran los datos necesarios para la resolución de la evolución en el compresor.



**Figura 3.** Modelado de un compresor (conociendo la presión de descarga)

**Problema 1c**

Resolver el modelo del compresor suponiendo ahora que se lo alimenta con una potencia un 10% mayor que en el caso anterior.

**Problema 2**

Se desea enfriar 400 mol/s de Metanol desde 90°C hasta 40°C. Para tal efecto se usan 3100 mol/s de agua de enfriamiento disponible a 25 °C. La presión de entrada del metanol es 5 bar y se permite una caída de presión de hasta 0.5 bar. La presión de entrada del agua es 6 bar y se permite una caída de presión de hasta 0.6 bar.

Las especificaciones de las corrientes son:

**Tabla 1.** Corrientes de intercambio de calor

	Entrada		Salida	
	Metanol	Agua	Metanol	Agua
Temperatura (°C)	90	25	40	
Presión (bar)	5	6	4.5	5.4
Flujo molar (mol/s)	400	3100	400	3100

Encontrar la temperatura de salida del agua.

### Problema 3

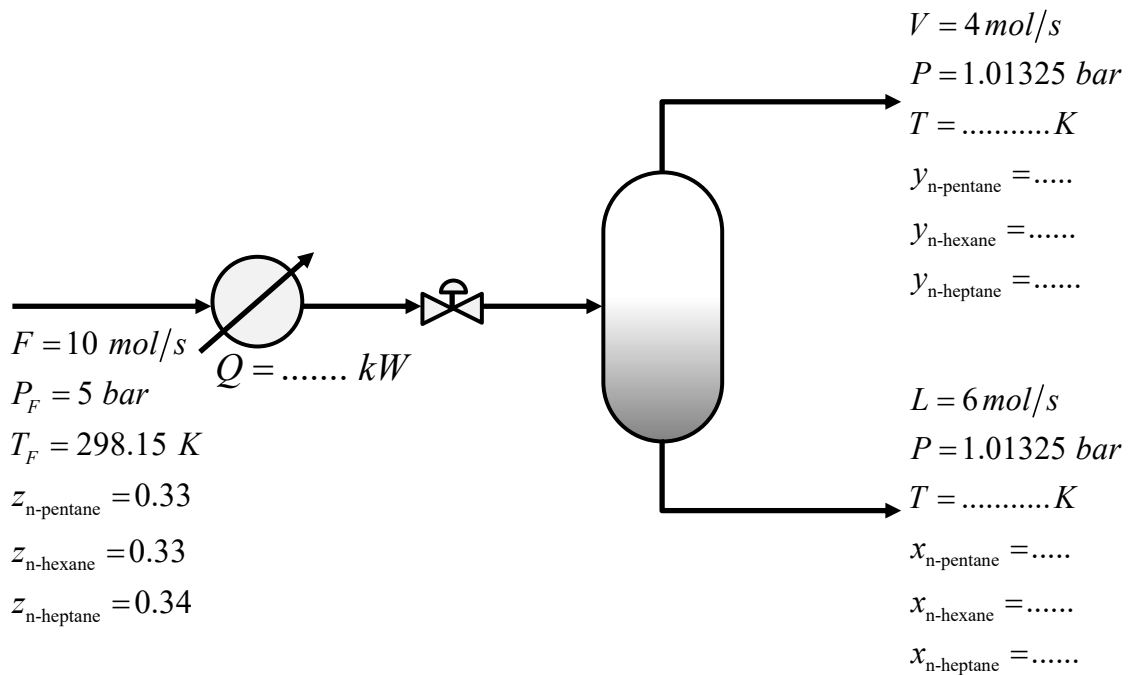


Figura 4. Equipo flash correspondiente al problema 2

La Figura 4 corresponde a un proceso flash de una mezcla de tres componentes (n-pentane, n-hexane y n-heptane).

- A partir del modelo presentado en clase, identificar las variables definidas para cerrar los grados de libertad.
- Proponer una secuencia de resolución asumiendo comportamiento ideal y otra asumiendo comportamiento no ideal en ambas fases.
- Resolver para ambos casos y completar los datos faltantes.

### Problema 4

Encontrar la temperatura de burbuja de una mezcla de Benceno (1) y Etanol (2) a  $1.01325 \text{ bar}$  y la siguiente composición molar  $x_1=0.5$  y  $x_2=0.5$ .

### Problema 5

Graficar la curva de temperaturas de burbuja y de rocío de una mezcla de Acetona (1) y Etanol (2) a  $1.0133 \text{ bar}$ . Comparar el modelo ideal y no ideal con los datos experimentales (Tabla 2). ¿Qué modelo se ajusta mejor?

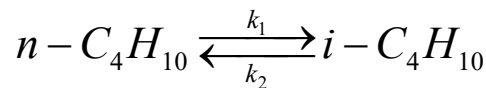
**Tabla 2.** Datos de equilibrio L-V

$T$	$x_l$	$y_l$
351.45	0	0
349.55	0.033	0.111
347.15	0.078	0.216
343.95	0.149	0.345
342.25	0.195	0.41
338.75	0.316	0.534
336.55	0.414	0.614
334.45	0.532	0.697
332.15	0.691	0.796
330.45	0.852	0.896
329.25	1	1

(\*) Amer H.H.; Paxton R.R.; van Winkle M.: Vapor-liquid equilibria. Ind.Eng.Chem. 48 (1956) 142-146

**Problema 6**

En un reactor mezcla completa (CSTR) ocurre la siguiente reacción química en fase líquida:



$$r_{R1} \left[ \frac{\text{mol}}{\text{seg.m}^3} \right] = k_1 C_{nC4} \quad k_1 = 2.94 \times 10^7 \frac{1}{\text{seg}} e^{-\frac{65300}{8.314T}} \quad r_{R2} \left[ \frac{\text{mol}}{\text{seg.m}^3} \right] = k_2 C_{iC4} \quad k_2 = 1.176 \times 10^8 \frac{1}{\text{seg}} e^{-\frac{72200}{8.314T}}$$

Utilizando Peng-Robinson, encontrar la condición de salida para el escenario propuesto en la Figura 5.

$$m_{in} : 45.27 \text{ mol.seg}^{-1}$$

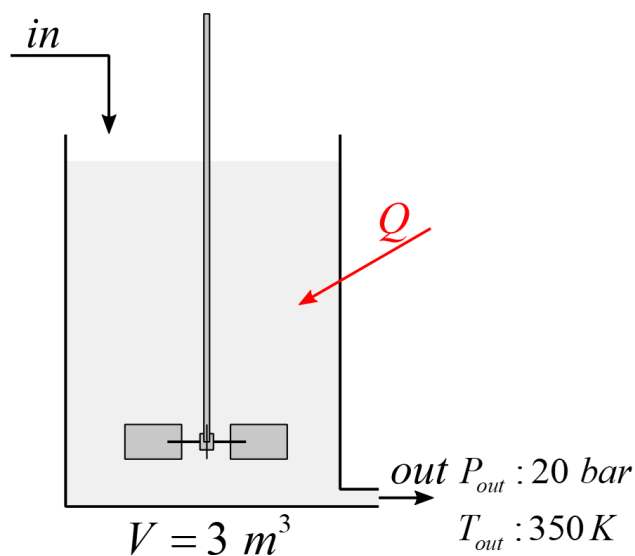
$$P_{in} : 20 \text{ bar}$$

$$T_{in} : 330 \text{ K}$$

$$x_{in,nC_4H_{10}} : 0.9$$

$$x_{in,iC_5H_{12}} : 0.1$$

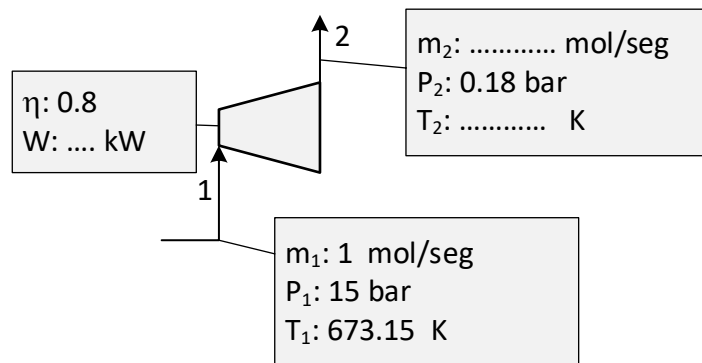
$$x_{in,iC_4H_{10}} : 0$$



**Figura 5.** Reactor CSTR

**Problema 7**

La corriente 1 proveniente de una caldera de generación de vapor (agua pura) ingresa a la turbina para generar energía. Calcular las incógnitas del escenario presentado en la Figura 5.



**Figura 5.** Turbina de vapor

**Problema 8 (Opcional)**

La mezcla del Problema 4 (a presión atmosférica) forma un azeótropo de mínimo punto de ebullición. Encontrar la composición y temperatura de saturación de este.

**Problema 9 (opcional)**

Se desea enfriar 400 mol/s de Metanol desde 90°C hasta 40°C. Para tal efecto se dispone de agua de enfriamiento a 25 °C que puede calentarse solo hasta 38 °C. La presión de entrada del metanol es 5 bar y se permite una caída de presión de hasta 0.5 bar. La presión de entrada del agua es 6 bar y se permite una caída de presión de hasta 0.6 bar.

Las especificaciones de las corrientes son:

**Tabla 3.** Corrientes de intercambio de calor

	Entrada		Salida	
	Metanol	Agua	Metanol	Agua
Temperatura (°C)	90	25	40	38
Presión (bar)	5	6	4.5	5.4
Flujo molar (mol/s)	400		400	

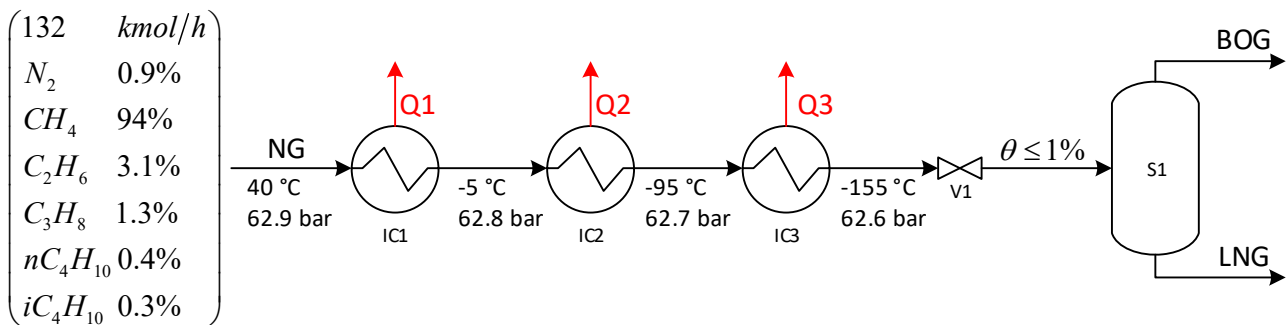
Encontrar el flujo molar de agua necesario.

**Problema 10 (opcional)**

Resolver el diagrama de flujo de la figura 1 despreciando la caída de presión en los equipos de intercambio de calor y asumiendo condensación y evaporación total en el condensador y evaporador respectivamente. Encontrar el flujo molar necesario para un intercambio de 200 kW en el evaporador.

**Problema 11 (opcional)**

En la Figura 6 se observa un proceso de licuefacción de gas natural en tres etapas. La corriente principal de gas natural (GN) se enfría mediante un ciclo de refrigeración que en el presente practico obviaremos su simulación.



**Figura 6.** Proceso de licuefacción de gas natural

- Calcular la energía que se debe extraer en cada intercambiador de calor.
- Encontrar la presión hasta la que se debe expandir la válvula V1 para no superar una fracción vaporizada del 1%.
- Detallar las condiciones finales del gas natural licuado (LNG) y del Boil-off gas (BOG).

*Ayuda:* En el primer intercambiador ambas corrientes de gas natural están en estado vapor y en el segundo intercambiador el gas natural pasa a estado líquido completamente.

**Problema 12 (opcional)**

En la tabla 4 se presenta la cromatografía del gas de pozo de un yacimiento.

**Tabla 4.** Cromatografía de un gas de pozo

Temperatura	18 °C
Presión	4 kgf/cm <sup>2</sup>
Compuesto	Fracción molar
NITROGENO	0.009592
DIOXIDO DE CARBONO	0.004981
METANO	0.926956
ETANO	0.032313
PROPANO	0.015164
I-BUTANO	0.003027
N-BUTANO	0.005061
I-PENTANO	0.001463
N-PENTANO	0.001443

Debido a que las cromatografías se realizan en base seca, para estimar la composición de agua de la muestra original se asume que es la suficiente para llegar a estar como vapor saturado a la presión y temperatura de la mezcla.

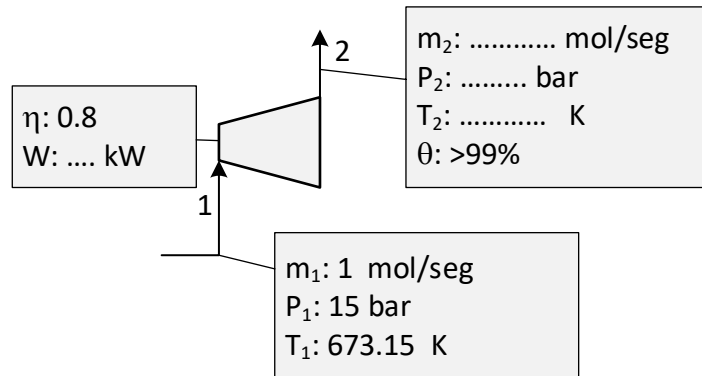
**Problema 13 (Opcional)**

Dado el reactor del problema 6, encontrar la condición de salida para una evolución adiabática del equipo.

*Ayuda:* La temperatura deja de ser un dato y el calor intercambiado debe ser Q=0.

**Problema 14 (Opcional)**

La corriente 1 proveniente de una caldera de generación de vapor (agua pura) ingresa a la turbina para generar energía. Se desea conocer la presión de descarga para lograr que la fracción vaporizada sea mayor al 99% (las gotas de líquido perjudican los alabes de la turbina).



**Figura 5.** Turbina de vapor

Recomendaciones generales:

Recomendamos utilizar las funciones termodinámicas para Excel desarrolladas por la catedra.

Cuando se trate de un compuesto puro, recordar que su fracción molar es igual a uno.

Se puede utilizar el Solver de Excel o proponer alguna estrategia de resolución.

Parámetros de interacción binaria necesarios:

alpha	Propano	N-Butano
Propano	0	0.0033
N-Butano	0.0033	0

alpha	N-pentane	N-hexane	N-heptane
N-pentane	0	0.000393	0.001373
N-hexane	0.000393	0	0.000297
N-heptane	0.001373	0.000297	0

a [cal/mol]	Benzene	Ethanol
Benzene	0	1065.9086
Ethanol	516.141	0

alpha	Benzene	Ethanol
Benzene	0	0.2937
Ethanol	0.2937	0

a [cal/mol]	Acetone	Ethanol
Acetone	0	36.2965
Ethanol	434.8228	0

alpha	Acetone	Ethanol
Acetone	0	0.2987
Ethanol	0.2987	0

alpha	N-butane	Isopentane	Isobutane
N-butane	0	0.0015	-0.0004
Isopentane	0.0015	0	0.00107
Isobutane	-0.0004	0.00107	0

alpha	Nitrogen	Methane	Ethane	Propane	N-butane	Isobutane
Nitrogen	0	0.0289	0.0344	0.0878	0.0711	0.1033
Methane	0.0289	0	-0.0033	0.0119	0.0244	0.0256
Ethane	0.0344	-0.0033	0	0.0011	0.0089	-0.0067
Propane	0.0878	0.0119	0.0011	0	0.0033	-0.0078
N-butane	0.0711	0.0244	0.0089	0.0033	0	-0.0004
Isobutane	0.1033	0.0256	-0.0067	-0.0078	-0.0004	0

alpha	Nitrogen	Carbon dioxide	Methane	Ethane	Propane	Isobutane	N-butane	Isopentane	N-pentane	Water
Nitrogen	0	-0.0222	0.0289	0.0344	0.0878	0.1033	0.0711	0.0922	0.1	0
Carbon dioxide	-0.0222	0	0.0793	0.1326	0.1315	0.13	0.1352	0.1219	-0.01	0.0063
Methane	0.0289	0.0793	0	-0.0033	0.0119	0.0256	0.0244	-0.0056	0.023	0
Ethane	0.0344	0.1326	-0.0033	0	0.0011	-0.0067	0.0089	0	0.0078	0
Propane	0.0878	0.1315	0.0119	0.0011	0	-0.0078	0.0033	0.0111	0.0267	0
Isobutane	0.1033	0.13	0.0256	-0.0067	-0.0078	0	-0.0004	0	0	0
N-butane	0.0711	0.1352	0.0244	0.0089	0.0033	-0.0004	0	0	0.0174	0
Isopentane	0.0922	0.1219	-0.0056	0	0.0111	0	0	0	0	0
N-pentane	0.1	-0.01	0.023	0.0078	0.0267	0	0.0174	0	0	0
Water	0	0.0063	0	0	0	0	0	0	0	0