



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOPROCESOS
IIQ2025 – OPERACIONES UNITARIAS II
PROFESOR FELIPE HUERTA PÉREZ (SECCIONES 1–3)
PRIMER SEMESTRE DEL 2025

Tarea Opcional 8 - Enunciado

Separación por membranas

Ayudante: Joaquín Barros – jbarrosvan@uc.cl

Objetivos de aprendizaje

- **Aplicar** conceptos de separación por membranas aprendidos en clase.
- **Calcular** soluciones numéricas para la separación por membranas de hidrógeno y gas natural.

Instrucciones

- **Formato de entrega:** las respuestas a la tarea deben subirse en un documento ordenado en formato **.pdf**.
- **Respaldo:** el desarrollo de la tarea debe estar respaldada con un archivo de Jupyter Notebook en formato **.ipynb**. Las tareas sin respaldo serán calificadas con 0 p independiente del valor de las respuestas.
- **Fecha límite:** 16 de junio del 2025, 23:59.
- Únicamente se aceptarán entregas a través de Canvas.
- No se aceptarán entregas fuera de plazo.

Contexto

El gas natural enriquecido con hidrógeno es una mezcla con un poder calorífico mayor al gas natural. Además, esta mezcla permite reducir las emisiones de carbono mediante la incorporación de una fracción volumétrica de hidrógeno. En muchos casos, esto se logra inyectando hidrógeno en los gasoductos de gas natural, permitiendo así reutilizar la infraestructura existente. Otra aplicación relevante del gas natural enriquecido con hidrógeno es el transporte de hidrógeno a través de gasoductos. En el punto de entrega en donde desea recuperar el hidrógeno a alta pureza, basta con utilizar una tecnología de separación adecuada para separar el hidrógeno del gas natural.

Considera que deseas separar una corriente de gas natural enriquecido con hidrógeno al 5 % volumétrico. Para ello, estás evaluando utilizar membranas Hyflon® AD 60 de la marca Solvay, o bien sintetizar tú mismo membranas a partir de monómeros de perfluorodioxolano (PFD). Los datos de permeabilidad de las distintas membranas se muestran en la Tabla 1.

Membrana	Coef. Permeabilidad ($10^3 \text{ L m/m}^2 \text{ atm min}$)	Selectividad (H_2/CH_4)
Hyflon® AD 60	19,4	23
Copolímero PFD	9,3	48

Tabla 1: Permeabilidad y selectividad para ambas membranas, obtenido de Huang et al., (2022) [1]

Para evaluar ambas membranas, considere lo siguiente:

- Se desea operar dos membranas en serie a contracorriente, el objetivo del primer separador es remover la mayor cantidad de hidrógeno del retenido. El objetivo del segundo separador es concentrar la corriente de hidrógeno para obtener una mayor pureza.
- El espesor de la membrana es de 250 micrones.
- La alimentación se encuentra a una presión de 3,5 bar, y el permeado una presión de 0,35 bar.
- En el **retenido** se obtiene una corriente de $10.000 \text{ m}^3 \text{ STP/h}$.

Recuerde convertir unidades si es necesario. A continuación se presenta un diagrama del proceso:

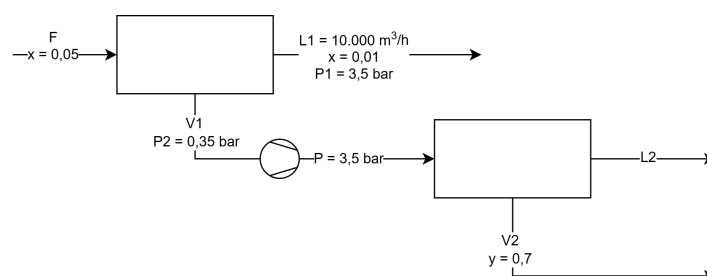


Figura 1: Diagrama del proceso.

Preguntas

1. ¿Cuál de las dos membranas recomendaría para el primer separador? Justifique su respuesta y utilizando esta membrana, encuentre el **área necesaria** para que $x_{\text{out}} = 0,01$ si $x_{\text{in}} = 0,05$. Además, encuentre el perfil de y, x vs largo, y las cantidades $L_{\text{out}}, V_{\text{out}}, y_{\text{out}}$. *Hint:* Utilice el Jupyter Notebook de la Clase 22 para resolverlo. **(0.2 p)**
2. El flujo de permeado del primer separador pasa a ser la alimentación de un segundo separador que busca concentrar el hidrógeno hasta 70 % molar en el permeado. Para esto, se comprime el permeado V_1 en un compresor hasta 3,5 bar. En el segundo separador, se mantiene la razón de presiones $R = 0,1$. ¿Qué membrana utilizaría para el segundo separador? Proponga un diseño de membrana que cumpla con los requerimientos mencionados. Entregue los valores de $x_{\text{out}}, L_{\text{out}}$, y una estimación del área de membrana utilizada (esta última estimada).

Note que no puede controlar la composición ni el flujo de la alimentación directamente. Usted debe hacerlo de manera indirecta a partir de $x_{\text{out}}, L_{\text{out}}$ y el área de membrana. Puede considerar un error máximo de hasta 5 % para ambos valores. *Hint:* Puede realizar un balance de masa en Excel para guiarse y luego utilizar el Jupyter Notebook para calcular el área de la membrana por iteración. Calcule la razón de corte para el proceso. **(0.2 p)**
3. ¿Cómo cambia el área de la membrana al cambiar la razón de presiones? Realice un gráfico de composición vs largo comparando al menos dos razones de presión y explique. **(0.1 p)**
4. Calcule las razones de corte de cada separación y la recuperación de hidrógeno global del proceso. **(0.1 p)**

Referencias

- [1] HUANG, L., XING, Z., ZHUANG, X., WEI, J., MA, Y., WANG, B., JIANG, X., HE, X., DENG, L., AND DAI, Z. Polymeric membranes and their derivatives for h_2/ch_4 separation: State of the art. *Separation and Purification Technology* 297 (2022), 121504.