



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Separación por membranas

Apellidos, nombre	Vidal Brotons, Daniel (vidal@tal.upv.es) Gras Romero, María Luisa (mgrasro@tal.upv.es) Castelló Gómez Marisa (mcasgo@upv.es) Pérez Esteve Édgar (edpees@tal.upv.es) Barrera Puigdollers Cristina (mcbarp@tal.upv.es) Betoret Valls Noelia (noebeval@tal.upv.es)
Departamento	Departamento de Tecnología de Alimentos
Centro	Universidad Politécnica de Valencia



1 Resumen

En este artículo se presentan los fundamentos de algunas técnicas de separación de productos basadas en el tamaño y tipo de membranas por las que se hace pasar una mezcla de componentes en fase fluida con el objetivo de distribuirlos en dos corrientes diferentes. Además, se comentan algunas de sus aplicaciones y se muestran los modelos matemáticos necesarios para el diseño de sistemas de este tipo.

2 Introducción

La Tecnología de Membranas es un conjunto de operaciones de separación de uno o más componentes de una fase líquida utilizando una membrana con permeabilidad selectiva al mismo o a los mismos. El transporte a través de la membrana se efectúa por la acción de una FUERZA IMPULSORA (gradiente de potencial eléctrico, gradiente de concentración, o gradiente de presión). En la figura 1 se representa el esquema de una unidad básica de separación por membrana (UBSM).

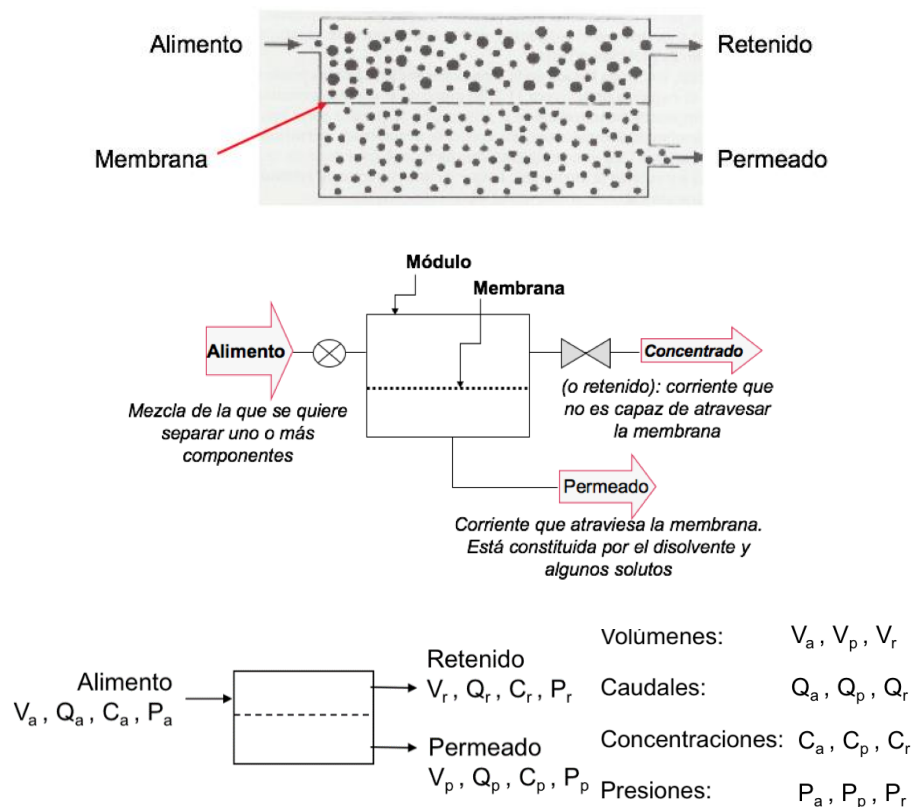


Figura 1. Unidad básica de Separación por Membrana (UBSM)



3 Objetivos

Una vez que el estudiante haya leído con detenimiento este documento, será capaz de:

- Identificar las corrientes y parámetros involucrados en una unidad básica de separación por membranas
- Seleccionar el tipo de separación por membrana en función del tamaño de las partículas que se quieren eliminar en una mezcla fluida
- Estimar los caudales de alimento, permeado o retenido en una operación de separación, así como el área necesaria de la membrana o la potencia de la bomba para hacer funcionar una unidad osmótica

4 Desarrollo

Este objeto de aprendizaje se ha estructurado en dos apartados. En el primero se indican las diferentes operaciones de separación, haciendo especial hincapié en las que utilizan la tecnología de membranas. En el segundo se indican las ecuaciones matemáticas para poder estimar algunos de los parámetros involucrados en el diseño de una de las operaciones de separación por membranas, la ósmosis inversa.

4.1 Clasificación de las operaciones de separación

Según las propiedades de la especie a separar, las operaciones de separación se pueden organizar según se indica en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de las operaciones de separación según las propiedades de la especie a separar

Propiedad	Operación de separación
Tamaño	Filtración, <u>Microfiltración</u> , <u>Ultrafiltración</u> , <u>Diálisis</u> , <u>Separación de gases</u> , Cromatografía de permeación gel
Presión de vapor	Destilación, <u>destilación por membranas</u> , <u>pervaporación</u>
Punto de congelación	Cristalización
Afinidad	Extracción, Adsorción, Absorción, <u>Ósmosis inversa</u> , <u>Separación de gases</u> , <u>Pervaporación</u>
Carga	Intercambio iónico, <u>Electrodiálisis</u> , Electroforesis
Densidad	Centrifugación
Naturaleza química	<u>Membranas líquidas</u> , complexometría

Las operaciones subrayadas indican separación por membranas

Por otra parte, los tipos de operaciones con membranas se indican en la tabla 2 de acuerdo al principio de la técnica y de la fuerza impulsora que gobierna el transporte.

Tabla 2. Clasificación de los procesos de separación por membrana según la fuerza impulsora

Principio	Fuerza impulsora	Operación
Eléctrico	Gradiente de potencial	Electrodialísis
Químico	Gradiente de concentración	Diálisis/Pervaporación
De presión	Gradiente de Presión	Ósmosis inversa Nanofiltración Ultrafiltración Microfiltración

Es posible realizar ósmosis inversa, nanofiltración, ultrafiltración y microfiltración, utilizando un amplio abanico de membranas. Los distintos tipos de membranas se diferencian en el tamaño de poro, por la afinidad hacia la materia disuelta y suspendida, los materiales de construcción, su coste y durabilidad.

En la **microfiltración** (MF), se trabaja a baja presión para separar partículas de alto peso molecular, coloides en suspensión o bien sólidos disueltos. Aplicaciones frecuentes incluyen la separación de células de extractos fermentados, fraccionamiento de proteínas de leche, clarificación de jarabe de maíz y la recuperación de químicos de lavado CIP.

La **ultrafiltración** (UF) es un paso de separación selectiva usada tanto para concentrar como para purificar compuestos de medio y alto peso molecular como proteínas lácteas, carbohidratos, y enzimas. Como áreas comunes de aplicación podemos mencionar la concentración de proteínas de suero, de-salinización de gelatinas y concentración y clarificación de zumos de frutas.

Por otra parte, la **nanofiltración** (NF) se considera como un proceso único entre la ultrafiltración y la ósmosis inversa, especialmente diseñada para conseguir separaciones específicas de compuestos de bajo peso molecular como azúcares, minerales disueltos y sales. Aplicaciones típicas incluyen desalinización de productos lácteos, recuperación de proteínas hidrolizadas, concentración de azúcares y purificación de tinturas y pigmentos solubles.

Por último, la **ósmosis inversa** (OI) es un proceso de alta presión muy utilizado como un método energéticamente eficiente para eliminar agua, concentrar compuestos de bajo peso molecular o purificar efluentes. Como aplicaciones comunes podemos mencionar la preconcentración de lácteos o de alimentos líquidos previo a una evaporación, pulido de condensado de evaporador y purificación de agua de proceso.

Entonces, ¿qué niveles de separación permiten estas membranas? y, ¿cómo funcionan?

En la figura 2 se presenta se presenta un esquema que ilustra la diferencia de tamaño de las partículas que pueden pasar a través de las diferentes membranas considerando



el gradiente de presión entre las dos caras de las mismas. Por otra parte, en la tabla 3 se indican algunos valores de funcionamiento de referencia como la presión de trabajo o el flujo que se utilizan en cada caso.

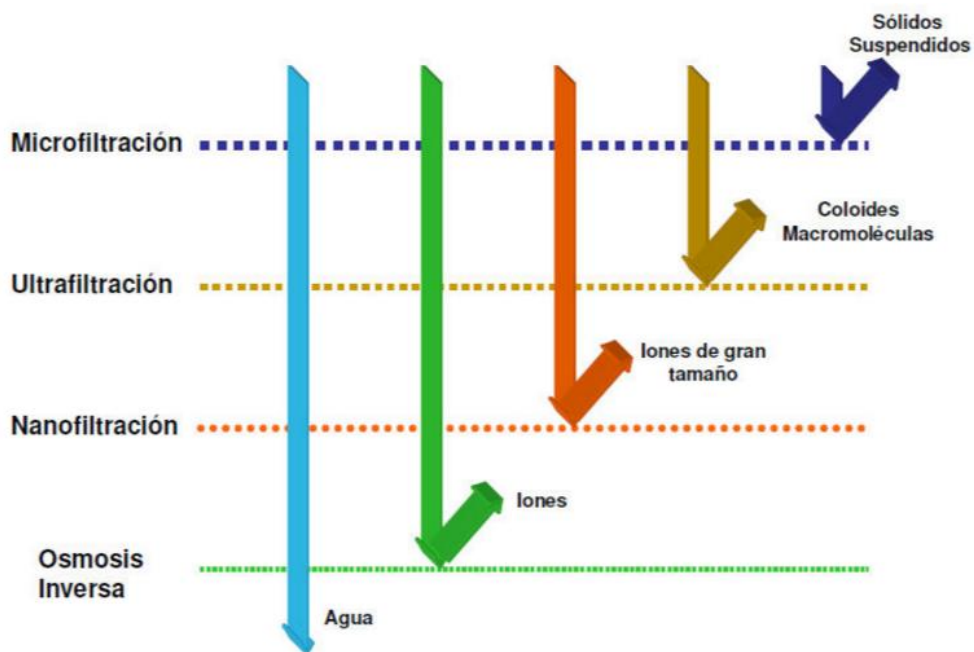


Figura 2. Comparación del tamaño de partícula que puede atravesar las membranas de las diferentes técnicas de separación debidas al gradiente de presión (Fuente: Condorchem envitech, 2015)

Tabla 3. Valores de referencia de nivel de separación, presión aplicada y flujo para las diferentes tecnologías de separación por membranas debidas al gradiente de presión

	ÓSMOSIS INVERSA	NANOFILTRACIÓN	ULTRAFILTRACIÓN	MICROFILTRACIÓN
NIVEL DE SEPARACIÓN	Sales monovalentes, solutos de bajo peso molecular	Sales divalentes. Solutos de bajo peso molecular	Macromoléculas (proteínas). Coloides	Partículas (bacterias y levaduras)
PRESIÓN APLICADA (bar)	15-40	10-40	2-10	0,2-2
FLUJO (Lm⁻²h⁻¹)	5-40	20-80	5-200	>200



4.2 Diseño de operaciones de separación por membranas

En la figura 3 se muestran las ecuaciones usadas para poder diseñar operaciones de separación mediante membranas, tomando como referencia el esquema de la UBSM.

Presión de trabajo (presión transmembrana media): $P_{tm} = \frac{P_a + P_r}{2} - P_p$

Flujo (flux): $J_p = \frac{Q_p}{A_m}$, donde: Q_p : caudal de permeado (m^3/s); A_m : superficie de membrana (m^2).

Permeabilidad: $L_p = \frac{J_p}{P_{tm}}$ Rechazo (coeficiente de retención): $R(\%) = \frac{c_c - c_p}{c_c} \times 100$

donde: $c_c = \frac{Q_a c_a + Q_r c_r}{Q_a + Q_r}$ es la concentración media ponderada de soluto entre el alimento y el retenido,
siendo: Q_a, Q_r : caudal de alimento, retenido (m^3/s)
 c_a, c_r : concentración de soluto en el alimento, retenido (kg/m^3)

Factor de concentración volumétrica: $FCV = \frac{Q_a}{Q_r} = 1 + \frac{Q_p}{Q_r} = \frac{1}{1 - FR}$

Factor de recuperación: $FR = \frac{Q_p}{Q_a} = 1 - \frac{1}{FCV}$ Factor de concentración: $FC = \frac{c_r}{c_a}$

Cálculo de la presión osmótica:

Ecuación de Van't Hoff: $\Pi = R \cdot T \cdot \frac{c}{M} = R \cdot T \cdot C$

donde: R : constante de los gases ($0,082 \text{ atm m}^3 \text{ K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$) ($8314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)
 T : temperatura absoluta (K)
 c : concentración de soluto (kg/m^3) (g/L)
 M : peso molecular del soluto (kg/mol) (g/mol)
 C : concentración molar de soluto (mol/kg) (mol/L)

Ecuación de Van't Hoff para sales iónicas: $\Pi = i \cdot R \cdot T \cdot C$, donde i es el grado de ionización.
Ecuación para disoluciones de NaCl:
 $\Pi \text{ (atm)} = 7,8823 \cdot X + 0,0506 \cdot X^2 + 0,0082 \cdot X^3$ con X (entre 0 y 26) en $kg \text{ NaCl} / 100 \text{ kg disolución}$.

Ecuaciones de flujo en OI:

Flujo de disolvente: $J_D = N_w = \frac{P_w}{L_m} \cdot (\Delta P - \Delta \Pi) = A_w \cdot (\Delta P - \Delta \Pi) = A \cdot (\Delta P - \Delta \Pi)$

donde: J_D, N_w : flujo (específico) de disolvente ($kg \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$)
 P_w : permeabilidad de la membrana al disolvente ($kg \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ atm}^{-1}$)
 L_m : espesor de la membrana (m)
 A_w, A : (constante de) permeabilidad de la membrana al disolvente ($kg \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ atm}^{-1}$)
 $\Delta P = P_{tm}$
 $\Delta \Pi = \Pi_c - \Pi_p$, siendo Π_c la presión osmótica media ponderada entre la del alimento (Π_a) y la del retenido (Π_r) y Π_p la presión osmótica del permeado.

Flujo de soluto: $J_s = N_s = \frac{D_s \cdot K_s}{L_m} \cdot (c_c - c_p) = A_s \cdot (c_c - c_p) = B \cdot (c_c - c_p)$

donde: J_s, N_s : flujo (específico) de soluto ($kg \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$)
 D_s : difusividad del soluto en la membrana ($m^2 \text{ s}^{-1}$)
 K_s : coeficiente de distribución (adimensional)
 L_m : espesor de la membrana (m)
 c_c : concentración media ponderada de soluto entre el alimento y el retenido
 c_p : concentración de soluto en el permeado
 A_s, B : (constante de) permeabilidad de la membrana al soluto ($m \text{ s}^{-1}$)

$N_s = N_w \frac{c_p}{c_{wp}}$, siendo c_{wp} la concentración de disolvente en el permeado (kg/m^3)

Estimación potencia bomba en OI: $Pot (W) = Q_a (m^3/s) \cdot P_{tm} (Pa)$

Figura 3. Formulario para la resolución de problemas de ósmosis inversa



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

5 Cierre

A lo largo de este objeto de aprendizaje hemos visto cómo funcionan algunas técnicas de separación por membranas, concretamente las basadas en la aplicación de gradientes de presión. Además, podremos seleccionar un tipo u otro según el componente que queramos eliminar de una mezcla fluida. Por otra parte, podremos estimar los parámetros del diseño de este tipo membranas utilizando las herramientas matemáticas proporcionadas.

6 Bibliografía

Condorchem envitech (2015). Filtración. Disponible en: <http://blog.condorchem.com/tag/filtracion/>

Díaz, M. "Ingeniería de bioprocesos". Capítulo 11. Separación de Productos (I). Por velocidad y en mallas. Ediciones Paraninfo, 2012.

Guizard, C. (1999). Clasificación de las membranas y de los procesos que las utilizan. Disponible en: <http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S452B.pdf>

Tejeda, O.A., Montensinos, O.R.M., Guzmán O.R. (1995). Bioseparaciones. Bloque IV: Purificación del producto. Capítulo 10. Ultrafiltración. Editorial Unison. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/104142017/Tejeda-Bioseparaciones>

García, B. (2015). Operaciones unitarias en bioprocesos. Disponible en: <http://es.slideshare.net/ingbibiana/operaciones-unitariasenbioprocesospdf>

Huerta, S. (2016). Procesos de membrana. Disponible en: http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/sho/Procesos_de_Membrana.pdf