

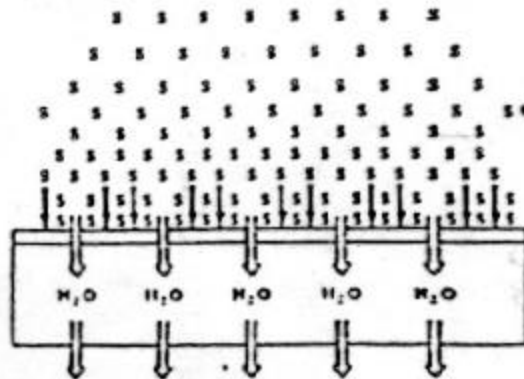
Separación Sólido-Líquido

Operaciones de membrana Parte 2

Separación y Procesos Biotecnológicos

Efectos de la polarización

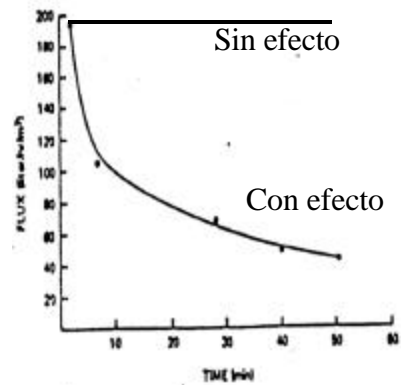
Debido a las diferentes velocidades de transporte de los diferentes solutos se produce un gradiente de concentración en la proximidad de la membrana, este efecto se conoce como "Efecto de Polarización". No se trata de formación de torta.



Efectos de la Polarización

MicroFiltración, UltraFiltración , Osmosis Inversa

- Disminución flux (F/A) de solvente (aumento en la resistencia).
- Interacción del soluto con la membrana, provocando incrustaciones.



Diálisis:

- Disminución gradiente de concentración efectivo, disminuyendo el flux de impurezas.

DISEÑO DE MICRO-ULTRAFILTRACIÓN

Teoría de micro-ultrafiltración

Esta teoría permite predecir el flux (flujo/área transversal) a través de la membrana.

La teoría tiene una aplicación limitada.

Los parámetros son:

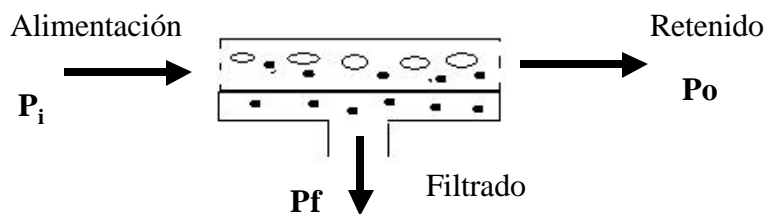
- Área necesaria para lograr una concentración
- Tiempo de operación

Restricciones

- Rango de presión
- Tolerancia de los equipos

Fuerza impulsora

La fuerza impulsora es un gradiente de presión a través de la membrana (ΔPTM)

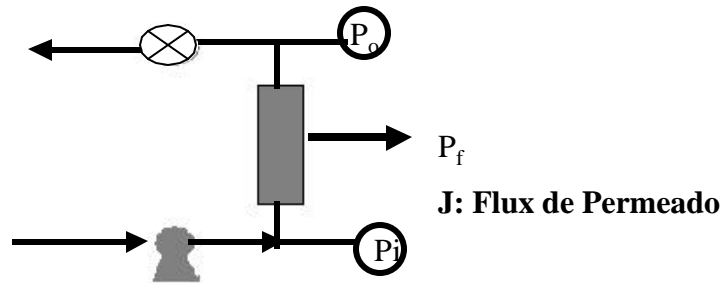


Este gradiente de presión (ΔPTM) se calcula como:

$$\Delta PTM = \frac{P_i + P_o}{2} - P_f$$

¿Cómo se mide en el equipo?

$$J = \frac{\text{Flujo Volumetric o } Q}{\text{Area Transversal}} = \frac{Q}{A}$$



Si $\Delta P = P_i - P_o$

Gradiente de Presión del flujo tangencial

$$\Delta PTM = \frac{\Delta P}{2} + P_o - P_f$$

El flujo de Permeado, J , variará con:

1. Gradiente de Presión, ΔPTM
2. Concentración de proteínas, $C_{\text{proteína}}$
3. Velocidad de recirculación, U

¿ Cómo se ve afectado el flujo de permeado por cada variable?

1. DPTM

La modelación del flux comprende 2 zonas

Zona I :
 $0 < \Delta PTM < \Delta PTM^{**}$

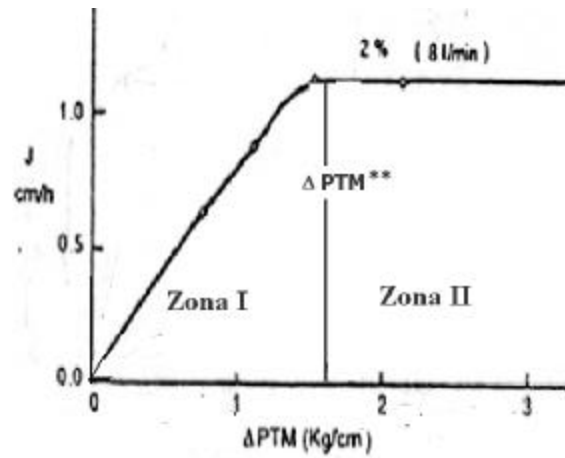
Dependencia Lineal

$$J = f(\Delta PTM)$$

Zona II :
 $\Delta PTM > \Delta PTM^{**}$

Independiente

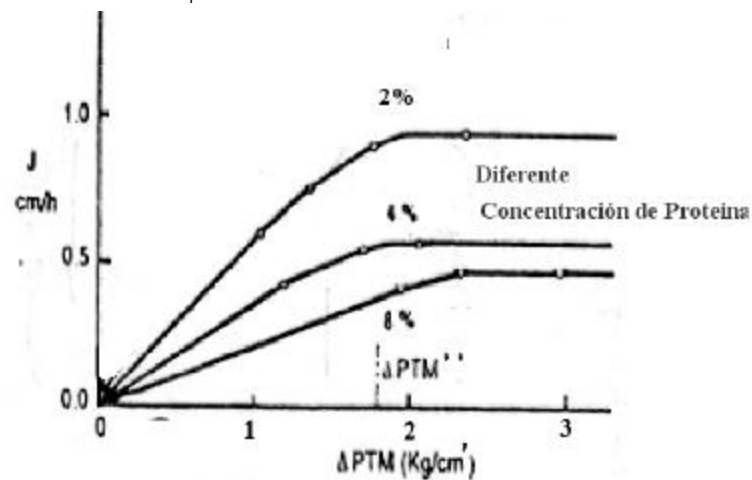
$$J = cte$$



2. - Concentración de Proteínas, $C_{p_{proteína}}$

Zona I $J = f(\Delta PTM, C_{p_{proteína}})$

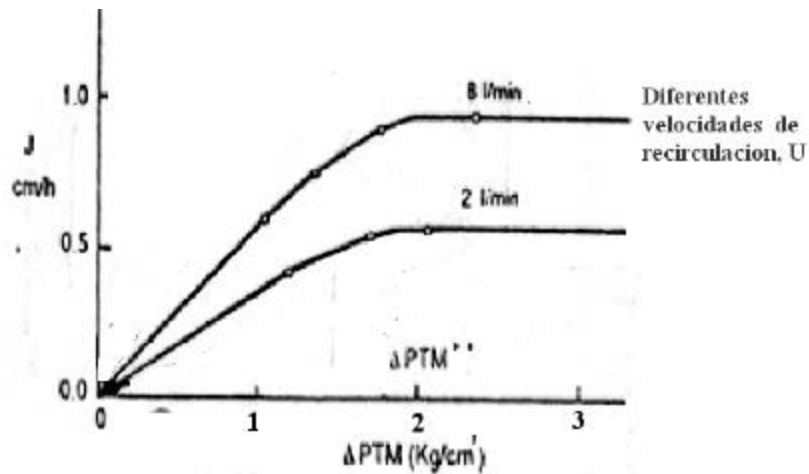
Zona II: $J = (C_{p_{proteína}})$



2.- Velocidades de Recirculación, U

Zona I $J = f(\Delta PTM, C_{p_{rpteína}}, U)$

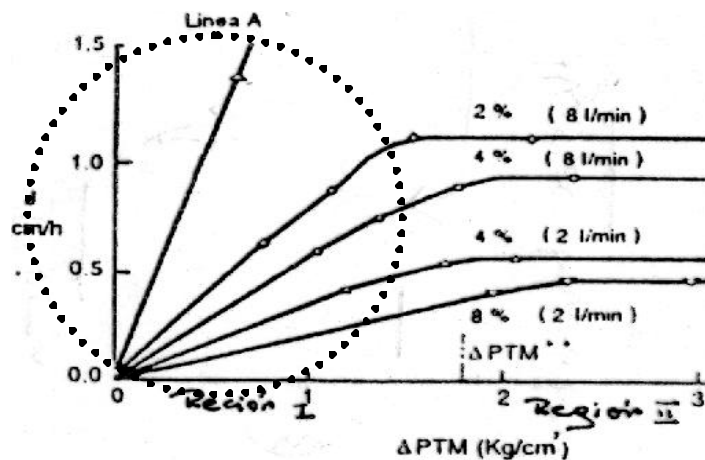
Zona II: $J = (C_{p_{rpteína}}, U)$: En cierta forma se está formando una torta



1.- Para la región I donde $\Delta PTM < \Delta PTM^{**}$

Se puede considerar que $R_m > R_c$, hay control por la membrana

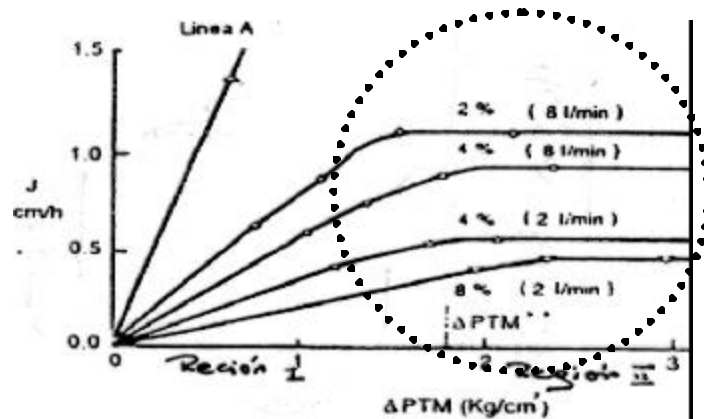
J depende de ΔPTM , pero los aumentos producen un aumento en R_c alcanzándose un máximo.



2.- Para la región II donde $\Delta PTM > \Delta PTM^{**}$

No hay efectos por la diferencia de presión hay un cambio en el control, ahora $R_c > R_m$

Los incrementos en ΔPTM sólo aumentan R_c , en esta zona sólo hay una dependencia con la velocidad de los flujos cruzados y la concentración de proteína.



Modelo para la determinación de una expresión para el Flujo de permeado, J

Modelo general

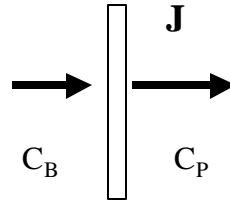
$$J = L_p (\Delta P_{TM} - \sigma \Delta \pi): \text{Flux de Permeado}$$

Donde

L_p : Coeficiente de permeabilidad

$\Delta \pi$: Presión osmótica, En el caso de macromoléculas en solución y dispersiones coloidales (proteínas y células) $\Delta \pi$ es muy bajo

σ : Coeficiente de rechazo del soluto por la membrana



$$S = 1 - \frac{C_P}{C_B}$$

$\sigma = 1$ Retención completa

$\sigma = 0$ Retención Nula

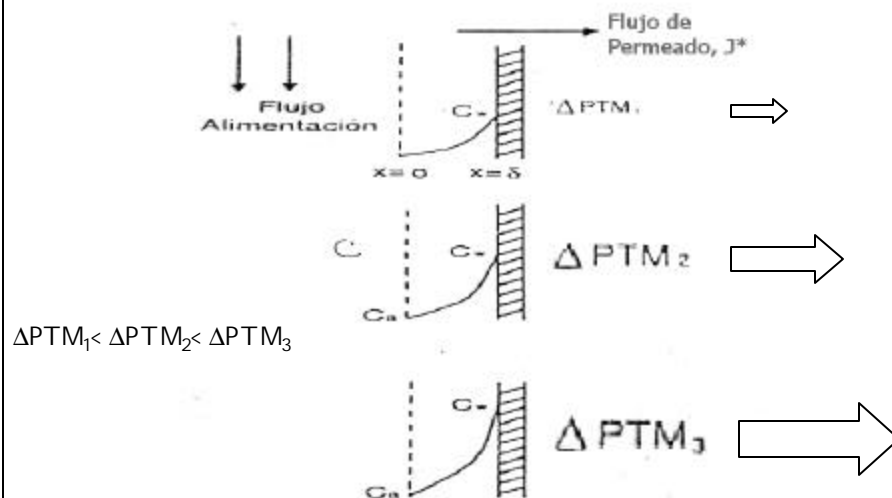
C_B : Conc. soluto en el seno de la solución a la cual se desea llegar.

C_P : Conc. soluto permeado

Modelo de polarización de Película

Se produce un fenómeno de polarización en la capa límite próxima a la membrana.

Los perfiles se ven modificados sólo por cambios en ΔP_{TM} .



Balance de masa

Movimiento convectivo de soluto a la interfase =

Movimiento difusivo del soluto de la interfase al seno del fluido.

+

Movimiento difusivo del soluto desde la interfase al seno del fluido.

Movimiento convectivo de soluto a la interfase	Movimiento difusivo del soluto de la interfase al seno del fluido.	Movimiento difusivo del soluto desde la interfase al seno del fluido.
$J^* C$	$= D_{AB} \cdot \frac{dC}{dx}$	$+ J^* C_p$

En estado estacionario

Consideraciones de bordes

$$x=0 \quad C=C_B$$

$$x=\delta \quad C=C_w$$

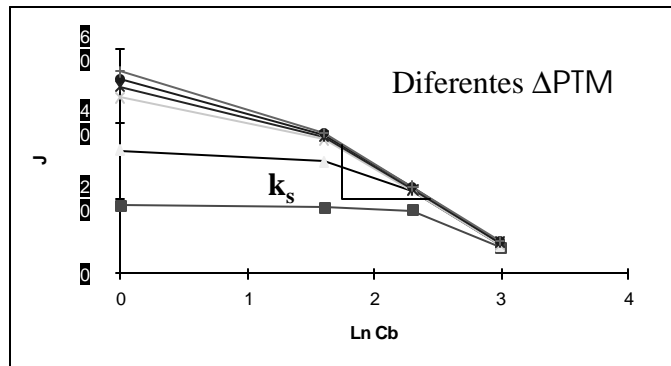
Integrando

$$J^* = \frac{D_{AB}}{d} \cdot \ln \frac{C_w^* - C_p^*}{C_B - C_p^*}$$

Si hay un coeficiente rechazo total $\sigma=1$ entonces $C_p^* = 0$

$$J^* = \frac{D_{AB}}{d} \cdot \ln \frac{C_w^*}{C_B} = k_s \cdot \ln \frac{C_w^*}{C_B}$$

k_s es el coeficiente de transferencia de masa, el cual se determina por medio de correlaciones o experimentos como:

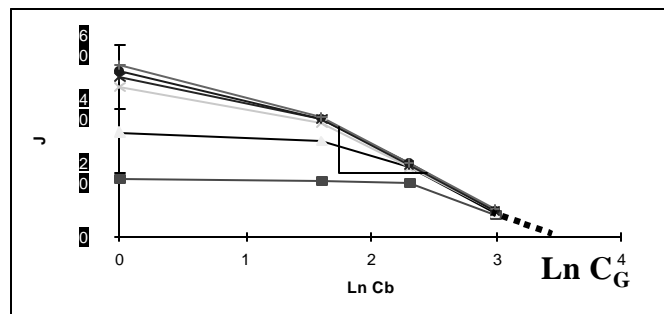


Modelo de polarización en película y capa de gel

Sólo en Región I

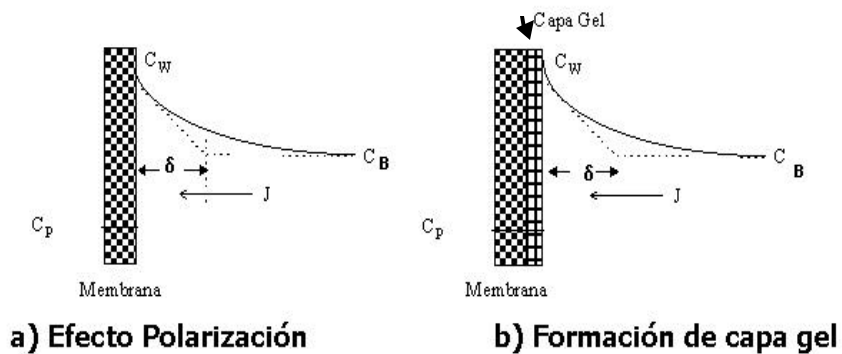
Si se supone que el aumento de C_w con ΔPTM tiene un límite C_G donde se forma la llamada "capa gel"

$$J^* = k_s \cdot \ln \frac{C_G}{C_B}$$



Características de la capa gel

- Se producen problemas por incrustaciones en la membrana
- Este efecto es diferente a la polarización de la membrana.



Características

- Las incrustaciones disminuyen la porosidad de la membrana necesitando tratamientos físicos y químicos
 - Aumento de costos
 - Disminuyendo la vida útil de los equipos

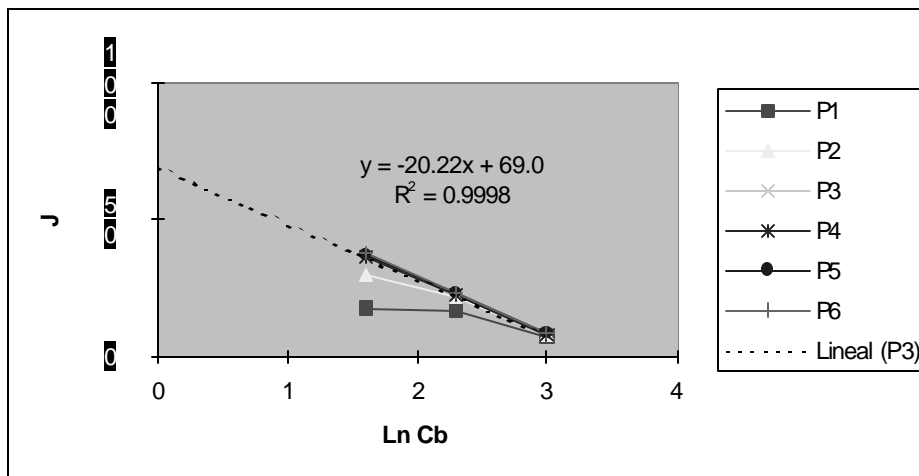
Problema 1 Microfiltración Modelo de la capa de polarización

En base a los datos de la siguiente tabla determine:

- 1.- Coeficiente de transferencia de masa
- 2.- La concentración de la "capa gel"

Tabla 1 Flux a diferentes condiciones de presión y concentración de proteínas

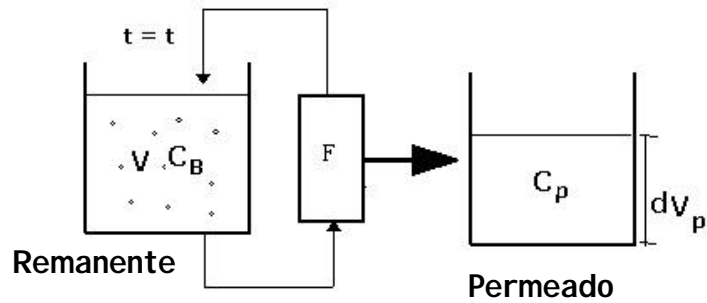
ΔPTM [Kg/cm ²]	Concentración en el seno de la solución C_B [% en peso]			
	1	5	10	20
0.00	0	0	0	0
0,33	18	17,5	17.0	7.00
0,66	33	30.0	21,8	7,33
1.00	47	36.0	22,2	7,66
1,33	50	36,5	22,6	8.00
1,66	52	37.0	23.0	8,33
2.00	54	37,5	23,4	8,66



$$J = -20.22 \cdot \ln (C_B/30.3) = 20.22 \cdot \ln (30.3/C_B)$$

Modos de Operación

Concentración Batch



Condiciones Iniciales

$$V_o, C_{bo}$$

Condiciones Finales

$$\text{Remanente } V_f, C_{Bf}$$

$$\text{Permeado } V_{pf} = V_o - V_f, C_p \text{ (Constante)}$$

Balance de Masa del Solute B

La masa que disminuye del tanque de reciclo es la que aumenta en el tanque de permeado.

$$\frac{-d(V \cdot C_B)}{dt} = \frac{d(V_p \cdot C_p)}{dt} \quad (1)$$

Considerando que:

- Concentración del permeado (C_p) se mantiene constante.
- $t = t$, $V_p = V_o - V$
- V_o es constante

$$\frac{-d(V \cdot C_B)}{dt} = C_p \cdot \frac{d(V_p)}{dt} = C_p \cdot \frac{d(V_o - V)}{dt} = C_p \cdot \frac{-dV}{dt} \quad (2)$$

$$\frac{d(V \cdot C_B)}{dt} = C_p \cdot \frac{dV}{dt}$$

Aplicando regla de la cadena al lado derecho

$$V \cdot \frac{dC_B}{dt} + C_B \cdot \frac{dV}{dt} = C_p \cdot \frac{dV}{dt} \quad (3)$$

Reordenando

$$V \cdot \frac{dC_B}{dt} = (C_p - C_B) \cdot \frac{dV}{dt} \quad (4)$$

$$\frac{dV}{V} = \frac{dC_B}{(C_p - C_B)} \quad (5)$$

Integrando

$$V = V_o \cdot e^{\left\{ - \int_{C_{Bo}}^{C_B} \frac{dC_B}{(C_B - C_p)} \right\}} \quad (6)$$

Por otra parte, el flux se puede calcular como:

$$J = \frac{-1}{A} \cdot \frac{dV}{dt} \quad (7)$$

Flux promedio, $\langle J \rangle$

$$\langle J \rangle = \frac{-1}{A} \cdot \frac{(V_f - V_o)}{\Delta t} \quad (8)$$

Aplicando regla de la cadena a (7)

$$J = \frac{-1}{A} \cdot \frac{dV}{dC_B} \cdot \frac{dC_B}{dt} \quad (9)$$

Reordenando la ecuación (5)

$$\frac{dV}{dC_B} = \frac{V}{(C_p - C_B)} \quad (10)$$

Aplicando (10) en (9)

$$J = \frac{-1}{A} \cdot \frac{\textcircled{V}}{(C_p - C_B)} \cdot \frac{dC_B}{dt} = \frac{-1}{A} \cdot V_o \cdot \frac{e^{\left\{ - \int_{C_{Bo}}^{C_B} \frac{dC_B}{C_B - C_p} \right\}}}{C_p - C_B} \cdot \frac{dC_B}{dt} \quad (11)$$

Reordenando

$$J = \frac{1}{A} \cdot V_o \cdot \frac{e^{\left\{ - \int_{C_{Bo}}^{C_B} \frac{dC_B}{C_B - C_p} \right\}}}{C_B - C_p} \cdot \frac{dC_B}{dt} \quad (12)$$

Integrando

Para $t=0$ $C_B = C_{Bo}$

$t=0$ $C_B = C_B$

$$\frac{t \cdot A}{V_o} = \int_{C_{Bo}}^{C_B} \frac{e^{\left\{ - \int_{C_{Bo}}^{C_B} \frac{dC_B}{(C_B - C_p)} \right\}}}{J \cdot (C_B - C_p)} dC_B \quad (13)$$

Si el rechazo es total, ie, no se deja pasar nada del sólido, $C_p = 0$

$$\frac{t \cdot A}{V_o} = \int_{C_{Bo}}^{C_B} \frac{e^{\left\{ - \int_{C_{Bo}}^{C_B} \frac{dC_B}{C_B} \right\}}}{J \cdot C_B} dC_B \quad (14)$$

Realizando un cambio de variables a $(1/C_B)$

$$\frac{t \cdot A}{V_o} = C_{Bo} \cdot \int_{1/C_B}^{1/C_{Bo}} \frac{1}{J} d\left(\frac{1}{C_B}\right) \quad (15)$$

Esta expresión permitiría determinar el tiempo necesario para alcanzar una determinada concentración, si se conoce A y una expresión del flux.

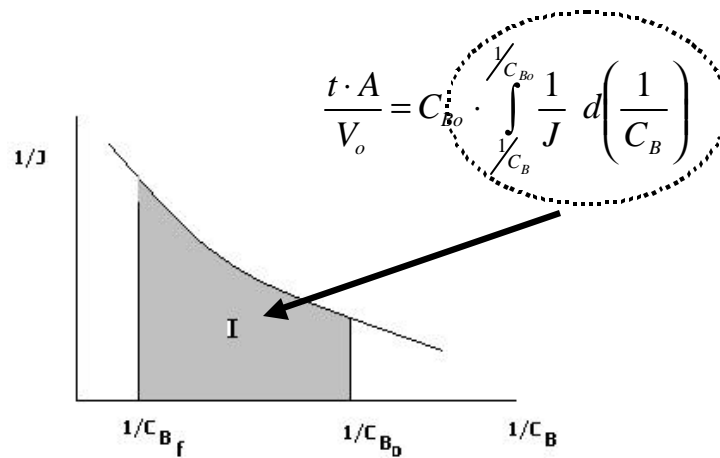
Recordando que:

$$J = k_s \cdot \ln \frac{C_G}{C_B}$$

Si se reemplaza "J" y se realiza la integración se pueden determinar "t" o "A".

$$\frac{t \cdot A}{V_o} = C_{Bo} \cdot \int_{1/C_B}^{1/C_{Bo}} \left\{ \frac{1}{k_s \cdot \ln \left[\frac{C_G}{C_B} \right]} \right\} d\left(\frac{1}{C_B}\right) \quad (15)$$

Gráficamente



Ejemplo1 Ultrafiltración

Se desea concentrar una solución de proteínas de 2% a 10% en peso. Por cada día de producción se tienen 4 horas de tiempo muerto (limpieza, descarga, etc.), luego el tiempo de operación es de 20 horas por día.

Se realizaron pruebas de laboratorio utilizando una unidad de ultrafiltración de fibra hueca con tubos de 0,012 [m] de diámetro y 1,2 [m] de largo.

Los datos de laboratorio muestran que para una caída de presión (ΔP_{TM}) de 1,5 [Kg/cm²] y un flujo de recirculación de 8 [L/min], el flux en [L/m²h] está dado por la expresión (C_B en %):

a)
$$J = 8 * \ln\left(\frac{15}{C_B}\right)$$

Calcule el área de ultrafiltración necesaria para concentrar los 10 [m³/día] de la solución de proteínas en el equipo de ultrafiltración de fibra hueca considerando que el flux está dado por la expresión anterior.

Costos de un sistema de Micro-Ultrafiltración

Costos Capital

TABLE 22-21 Capital-Cost Distribution for Components in Large UF/MF Plants

Cost distribution	% of total, range
Membranes and membrane housings	17–40
Pumps, motors, etc.	15–9
Pipes, valves, and framework	35–31
Cleaning system	18–10
Control panel	15–10

Costos de un sistema de Micro-Ultrafiltración

Costos de Operación

TABLE 22-22 Operating-Cost Range for Large UF/MF Plants

Expense item	Range of variable commonly encountered
Energy consumption	0.5–5 kWh/m ³ permeated
Cleaning chemicals and lost product	\$10–100/m ² membrane installed-year
Membrane replacement	1–5 years at \$20–40 m ² ; 10–20 years at \$200/m ²
Operating, cleaning, and maintenance labor	2–3% of installed capital
Maintenance materials	0.6–0.06% of installed capital

Tarea 4 Costos de Capital y Operación

Fecha de entrega: 1/9/2003

1. Estime los costos de capital y operación para el ultrafiltro del ejemplo 1.