



Departamento de
Ingeniería Química y
Tecnología Farmacéutica
Universidad de La Laguna

Tema 7: Introducción a las tecnologías de desalinización de agua

Tecnologías de Tratamiento y de Gestión de las Aguas

Oliver Díaz López

Elisabet Segredo Morales

Enrique González Cabrera



ÍNDICE

1. [Conceptos generales de desalación](#)
2. [Ósmosis Inversa](#)
3. [Electrodiálisis Reversible](#)
4. [Procesos de Desalación Térmica](#)





Conceptos generales de desalación



DESALACIÓN

¿Qué es desalación?

La desalación es un proceso de separación de sales de una disolución acuosa, pero que puede ampliarse al proceso de separación del agua de las sales

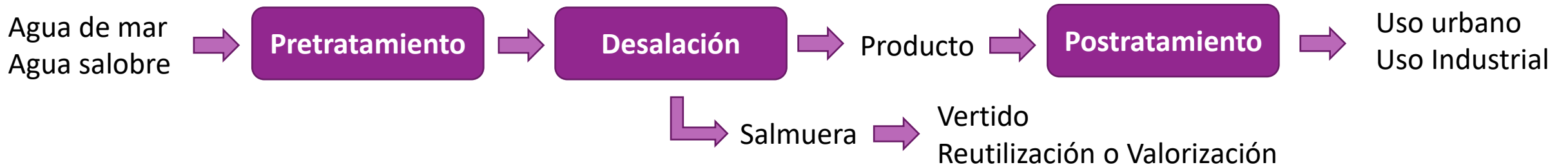
Objetivo

Clasificación de las aguas en función del contenido en sales

Tipo de agua	Contenido en TDS
Agua pura	< 500 mg/L
Agua de rio de baja concentración	500 < TDS < 3.000 mg/L
Agua Salobre	3.000 < TDS < 20.000 mg/L
Agua Marina	20.000 < TDS < 50.000 mg/L
Salmuera	>50.000 mg/L

CONCEPTOS GENERALES

Esquema general de un proceso de desalación



Pretratamiento

- Su objetivo debe ser adecuar la calidad del agua de alimentación para permitir la operación de la unidad de desalación

Desalación

- En esta etapa se produce las operaciones de separación
- Se obtienen dos corrientes la de producto y la salmuera

Postratamiento

- Es necesario una etapa de cloración para el uso potable
- En el caso de procesos con alta eficiencia es necesario una remineralizadora con el objetivo de adaptar el agua desalada a los criterios de abastecimiento urbano o uso industrial.

Clasificación de los procesos de desalación

Procesos que extraen
agua

Procesos que extraen sales

Ósmosis Inversa

Procesos de
evaporación

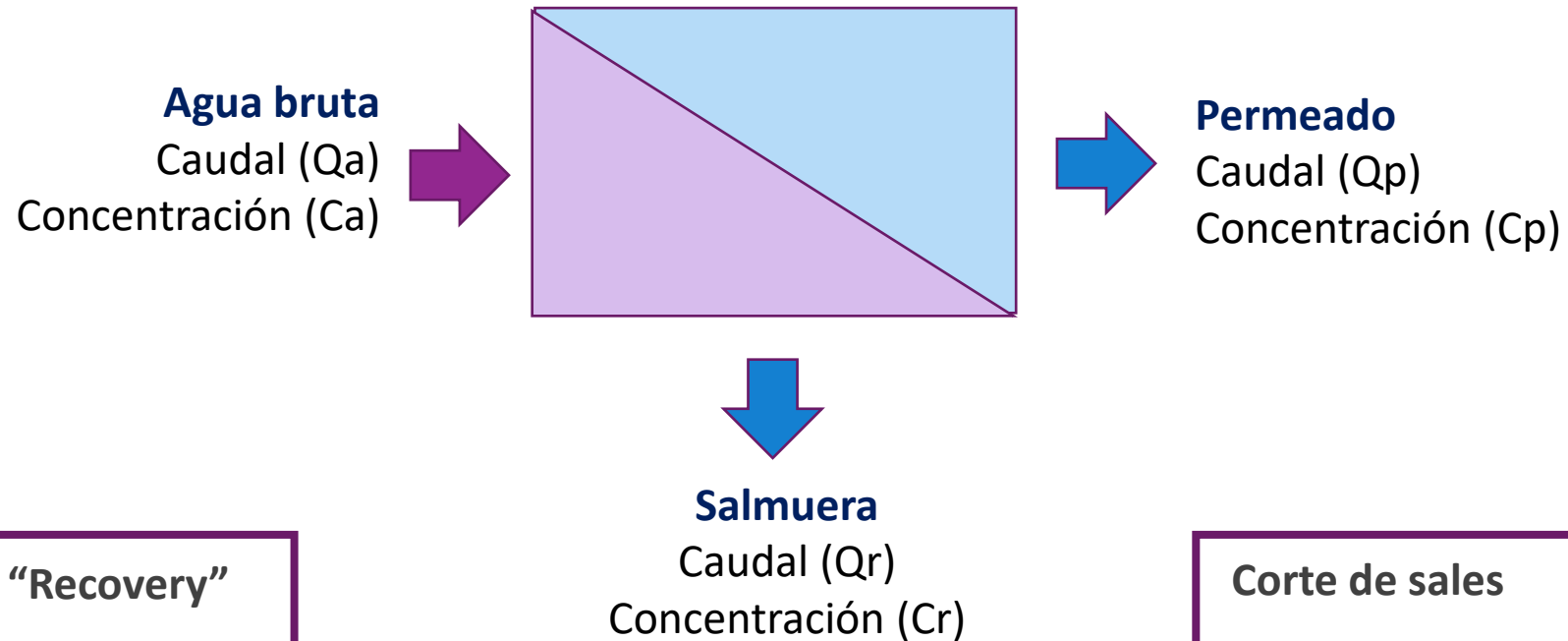
Intercambio
iónico

Precipitación

Electrodiálisis
Reversible

CONCEPTOS GENERALES

Conceptos claves: recobro y corte en sales



Recuperación: "Recovery"

$$R (\%) = \frac{Q_p}{Q_a} \cdot 100$$

Corte de sales

$$\eta (\%) = \left(1 - \frac{C_p}{C_a} \right) \cdot 100$$



Ósmosis Inversa

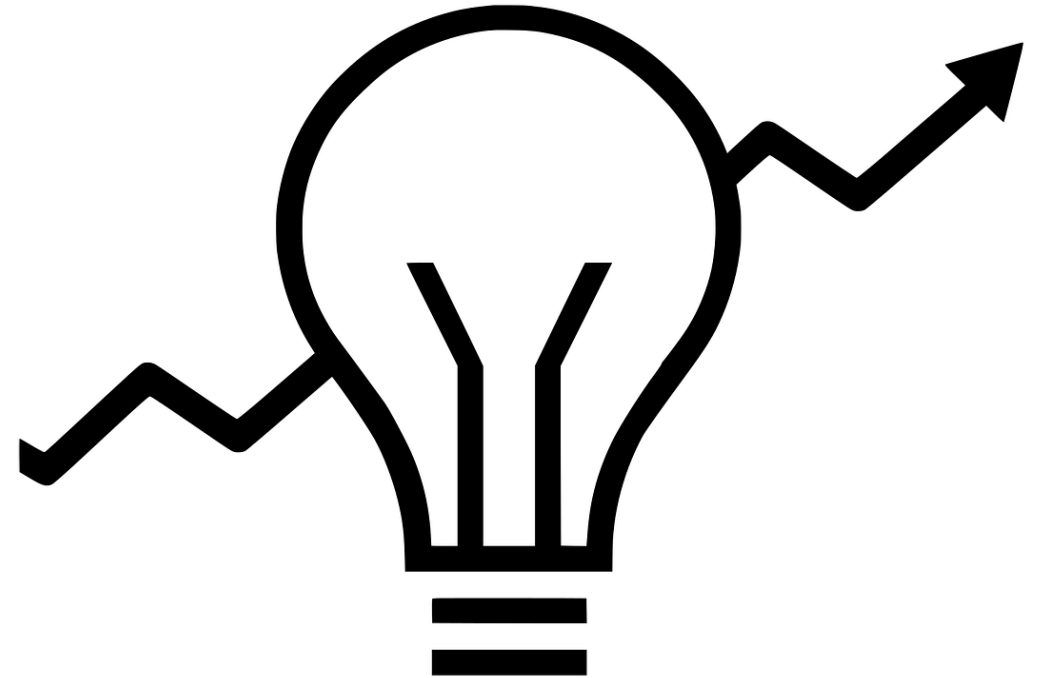
DEFINICIÓN DEL PROCESO DE ÓSMOSIS

Ósmosis

Fenómeno natural por el cual una membrana semipermeable, permite el paso a su través del disolvente, pero no del soluto, es decir, **flujo espontáneo de agua desde una solución diluida a una más concentrada**, cuando las dos soluciones están separadas por una membrana semipermeable

Ósmosis Inversa

Fenómeno artificial por el cual una membrana semipermeable, permite el paso a su través del disolvente, pero no del soluto, es decir, **flujo espontáneo de agua desde una solución concentrada a una más diluida**, cuando las dos soluciones están separadas por una membrana semipermeable y **se aplica una presión superior a la osmótica a la disolución concentrada**



PRESIÓN OSMÓTICA

Definición

Es la diferencia de presión hidrostática generada cuando dos fluidos con diferente concentración salina se ponen en contacto mediante una membrana semipermeable que permite el paso del disolvente a su través.

Rango de valores e importancia

Parámetro clave en el diseño de unidades de desalación y su valor depende de la concentración salina de la muestra

Especie	Concentración (mg/L)	Presión osmótica Π (bar)
NaCl	1.000	0,79
NaHCO ₃	1.000	0,86
MgSO ₄	1.000	0,25
Agua de mar	35.000	26,1

Determinación de la presión osmótica

Determinación exacta

$$\Pi(\text{bar}) = R \cdot \phi \cdot T \cdot \sum \text{Molaridad}$$

- Π : presión osmótica (bar)
- R: constante de los gases ideales (atm/mol·K)
- T: temperatura (K)
- ϕ : coeficiente osmótico del disolvente

Determinación aproximada

$$\Pi(\text{bar}) = \frac{SDT \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}{1400} \quad \Pi(\text{PSI}) = \frac{SDT \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}{100}$$

PRESIÓN DE TRABAJO

Definición

- Es la diferencia entre la presión aplicada y la presión osmótica

$$P_n = P_a - \Pi$$

- Es la energía aplicada que produce trabajo de desalación.
- La membrana de Ósmosis inversa se comporta como una bomba, que alcanza una presión de impulsión igual a la osmótica
- No se conoce cómo procesa la membrana la presión necesaria para el proceso de ósmosis inversa

Tipo de Ósmosis	Objetivo	Presión de trabajo(bar)
Muy Baja presión	Agua ultrapura	5 - 10
Presión Baja	Eliminación de nitratos o material orgánico	10 - 20
Presión moderada	Procesos de separación	20 - 40
Presiones muy Altas	Agua de mar	> 50

COMPORTAMIENTO DE LA ÓSMOSIS. PARAMETROS

Parámetros que influyen al paso del agua y las sales

Gradiente de concentraciones (ΔC)

- Altos valores de gradientes de concentración contribuyen al paso de sales por la propia difusión

Presión neta

- Un incremento en la presión se traduce en un incremento en el flujo
- Este parámetro afecta al ΔC disminuyendo el corte en sales

pH

- No afecta al paso del agua, pero sí al paso de sales
- El rechazo en sales se disminuye en condiciones muy ácidas o básicas

Temperatura

- La temperatura afecta a la viscosidad del agua afectando al flujo ($\pm 2,5\%$ por $\pm 1^{\circ}\text{C}$)
- En los meses de verano se puede llegar a observar un ligero incremento en el corte de sales

MEMBRANAS DE ÓSMOSIS

Características

- Alta permeabilidad al agua pura
- Alto porcentaje de rechazo de sales
- Alta resistencia química
- Alta resistencia mecánica
- Larga vida útil

Clasificación atendiendo a su composición química

Tipos de membranas (Composición química)

Membranas de
celulosa

Membranas de
poliamida
aromática

MEMBRANAS DE POLIAMIDA AROMÁTICA

Composición

Son membranas asimétricas, es decir, presentan una composición química y propiedades diferentes en su corte transversal

Capa activa

- Composición: presencia en su estructura del grupo amida (-CONH-)
- Espesor: 0,2 μ m
- Corte: 2.000 A

Capa intermedia

- Composición: polisulfona
- Espesor: 40 μ m
- Corte: 60 μ m

Capa soporte

- Composición: poliéster
- Espesor: 120 μ m
- Corte: 150 μ m

Ventajas

- Alto rechazo de sales: 90-99%
- No se hidrolizan
- No son biodegradables
- Elevada estabilidad química
- Menor presión de operación

Inconvenientes

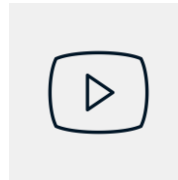
- Baja permeabilidad: 100 L/m²d
- Sensibles al cloro y oxidantes en general
- Sensibles al ensuciamiento orgánico

MÓDULOS DE MEMBRANAS DE ÓSMOSIS INVERSA

Módulo de membrana de arrollamiento en espiral

- Gran superficie por unidad de volumen $600-800\text{m}^2/\text{m}^3$
- Reducido coste de fabricación
- Cierta facilidad de limpieza
- No utilizable para líquidos con cierta turbidez
- Son membranas de hojas planas
- Dos hojas se pegan en tres lados formando un sobre que se arrolla alrededor de un tubo central perforado

Descripción Visual del módulo de arrollamiento en espiral



MÓDULOS DE MEMBRANAS DE ÓSMOSIS INVERSA

Módulo de membrana de arrollamiento en espiral

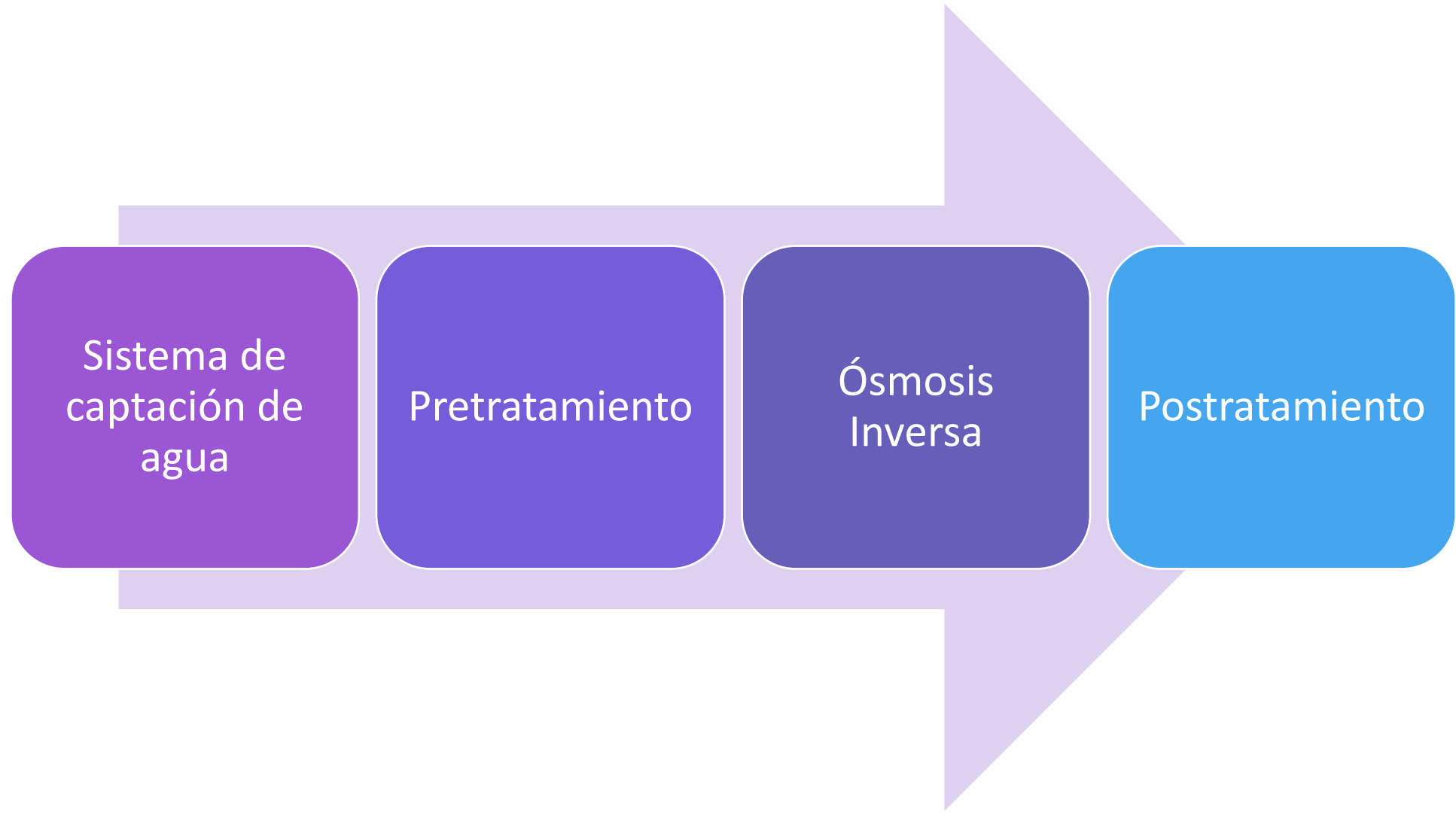
Espaciador de alimentación/salmuera

- Separa dos sobres continuos
- Establece el paso de agua
- Origina Turbulencia
- Dos tipos:
 - 28 mil (0,71 mm): producen una mayor turbulencia
 - 34 mil (0,86mm): reducen el ensuciamiento producido

Espaciador de permeado

- Forma el depósito de agua permeada
- Evita que el sobre colapse

ÁREAS DE PROCESOS DE UNA PLANTA DE ÓSMOSIS INVERSA



PRETRATAMIENTO DE LA ÓSMOSIS INVERSA

Necesidades del pretratamiento

Siendo la membrana de OI un “filtro absoluto”, el agua que llegue debería estar libre de sólidos en suspensión, materia orgánica, bacterias, etc. Ya que su función es desalar y no filtrar.

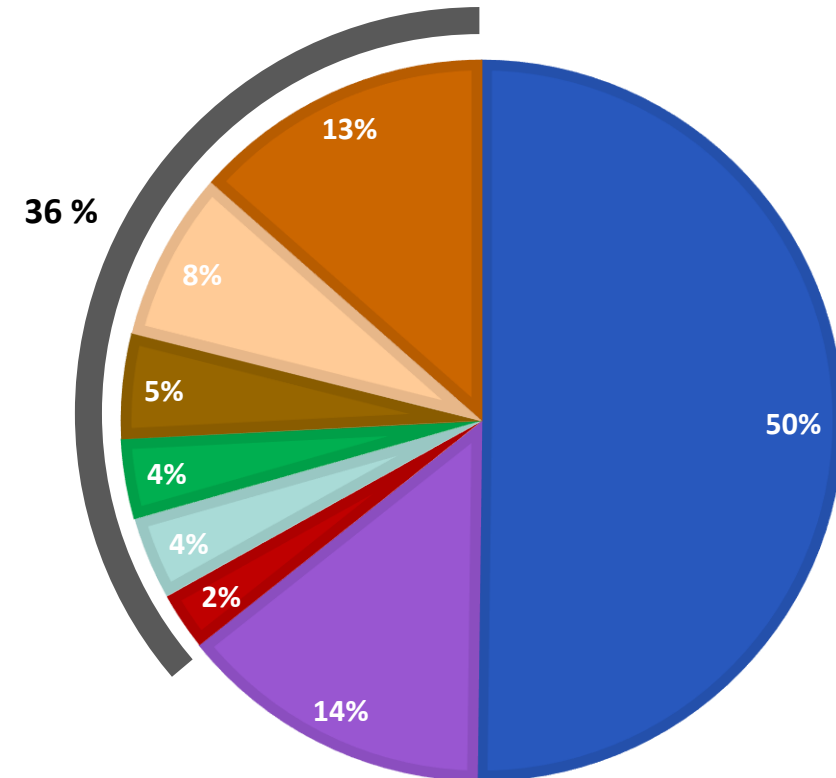
Objetivos del pretratamiento

Eliminar toda materia que pueda quedarse retenida en la superficie de la membrana, **ensuciándola**.

- Eliminar turbidez y sólidos en suspensión
- Ajustar el pH
- Inhibir formación compuestos que obstruyan o precipiten sobre la membrana
- Impedir crecimiento biológico
- Mejorar el valor del SDI

ENSUCIAMIENTO EN MEMBRANAS DE ÓSMOSIS INVERSA

■ Orgánico ■ Otros ■ CaSO₄ ■ CaCO₃ ■ Ca₃(PO₄)₂ ■ Al₂O₃ ■ Fe₂O₃ ■ SiO₂



PRETRATAMIENTO DE LA ÓSMOSIS INVERSA

Silt Density Index (SDI). índice de ensuciamiento

- Método analítico que analiza la propensión al ensuciamiento de una determinada agua de alimentación
- El pretratamiento óptimo obtiene un valor de $SDI < 3$
- Las membranas soportan valores $SDI < 5$

Procedimiento:

1. Purgar el sistema sin el filtro
2. Colocar el filtro de 0,45 micras
3. Comenzar a pasar la muestra
4. Medir el tiempo para filtrar 500 mL (t_1)
5. Dejar fluyendo el agua a 2 bar durante un tiempo T (normalmente 15min)
6. Medir el tiempo para filtrar 500 mL (t_2)
7. Calcular SDI

$$SDI = \frac{\left(\frac{t_2 - t_1}{t_2}\right) \cdot 100}{T}$$

PRETRATAMIENTO DE LA ÓSMOSIS INVERSA

Opciones de tratamiento para diferentes tipo de plantas

Etapa	Equipos	Prod.<500 m ³ /d Captación pozo	Prod.<500 m ³ /d Captación super	Prod.>500 m ³ /d Captación pozo	Prod.>500 m ³ /d Captación super
Desinfección	Dosificación de NaOCl	--	Necesario	Opcional	Necesario
Coagulación	Dosis de coagulante	--	Opcional	Opcional	Necesario
Acidificación	a)Ácido sulfúrico	--	--	Necesario	Necesario
	b)Bisulfito sódico	Necesario	Necesario	--	--
Filtración	Lechos de arena	Opcional	Necesario	Necesario	Necesario
Decloración	a) Dosificación de NaHSO ₃	--	Necesario	Opcional	Necesario
	b) Adsorción con carbón activo	--	Necesario	Opcional	Necesario
Control de sales poco solubles	Dosificación de antiincrustantes	Necesario	Necesario	Necesario	Necesario
Microfiltración	Filtros de cartucho	Necesario	Necesario	Necesario	Necesario

PRETRATAMIENTO DE LA ÓSMOSIS INVERSA

Etapas de pretratamiento

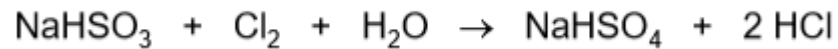
- 1. Desinfección:** Eliminar la actividad biológica (se analizará en el Tema 8)
 - Normalmente es hipoclorito sódico, para escasa actividad, el bisulfito sódico
 - Cloro residual libre entre 0,4 y 1 ppm
- 2. Coagulación:** Eliminar la materia coloidal (estudiado en el Tema 4)
 - Sales de Fe y Al
 - Usar sólo en caso de gran cantidad de coloides: el exceso de sobredosificación genera ensuciamiento
- 3. Acidificación:** Eliminar alcalinidad
 - Prevención de la precipitación de bicarbonatos
 - Incremento del pH favorece la eliminación de Boro
- 4. Filtración:** Filtración granular (estudiado en el Tema 4)

PRETRATAMIENTO DE LA ÓSMOSIS INVERSA

Etapas de pretratamiento

5. **De-cloración:** Eliminar los residuos de cloro de la etapa anterior

- Dosificación de bisulfito sódico
- Dosificar antes de los filtros de cartucho



6. **Control de sales poco solubles:** Evitar incrustaciones de sales

- Uso de anti-incrustantes que detienen el proceso de precipitación al inhibir el crecimiento de los cristales
- Tipos de anti-incrustantes
 - Hexametáfosfato sódico
 - Polímeros orgánicos
 - Productos polifosfonatos

7. **Microfiltración:** Proteger la bomba de alta presión y los módulos

- Impiden el paso de las partículas más finas (5-10 micras)
- El sistema más usado es los filtros de cartuchos desechables
- Fabricados en polipropileno bobinado, extrusionado o plegado, tienen un alma o cuerpo central tubular sobre el que se enrolla el material filtrante, de modo que las partículas quedan retenidas en su superficie y el agua pasa a través del medio filtrante hacia el tubo central
- El SDI no debe disminuir después de pasar a través de ellos, si ocurre el pretratamiento no es bueno.

UNIDAD DE ÓSMOSIS INVERSA



BASTIDOR DE MÓDULOS DE ÓSMOSIS INVERSA

Bastidor de módulos de Ósmosis Inversa en arrollamiento en espiral

- Módulos más comunes en arrollamiento en espiral
- Al estar limitada la recuperación de una membrana, se hace necesario establecer un diseño multietapa, colocando las membranas en serie.
- Cada membrana recibe el concentrado de la membrana anterior

Rendimiento del bastidor

Recovery	Agua Salobre	Agua de mar
Por membrana	15 %	12%
Por tubo	55%	50%

Efectos de la Presión Neta sobre la producción

Razones para la disminución del caudal a lo largo del tubo de membranas:

- El caudal que llega a cada módulo es menor
- La presión neta va disminuyendo por:
 - La presión de entrada es menor por las pérdidas de carga
 - La presión osmótica va aumentando debido al incremento de la presión

BASTIDOR DE MÓDULOS DE ÓSMOSIS INVERSA

Configuración de un batidor

Variantes de un tubo:

1. Diseño clásico: todas las membranas iguales (descrito anteriormente)
2. Diseño híbrido:
 - El ensuciamiento es proporcional al flujo, por eso los primeros elementos son los que más se ensucian
 - La solución es procurar que el flujo de los primeros sea menor y el de los últimos mayor
 - Se colocan diferentes membranas dentro del tubo de presión
 - Ventajas: mejor hidráulica, menor ensuciamiento, mayor vida útil y menor número de limpiezas

Atendiendo al número de etapas impuestas

1. Etapa única: el agua de alimentación solo se introduce en un tubo de presión (descrito anteriormente)
2. Doble etapa
 - La salmuera de la primera etapa alimenta a la segunda etapa
 - Se incrementa el recovery del proceso

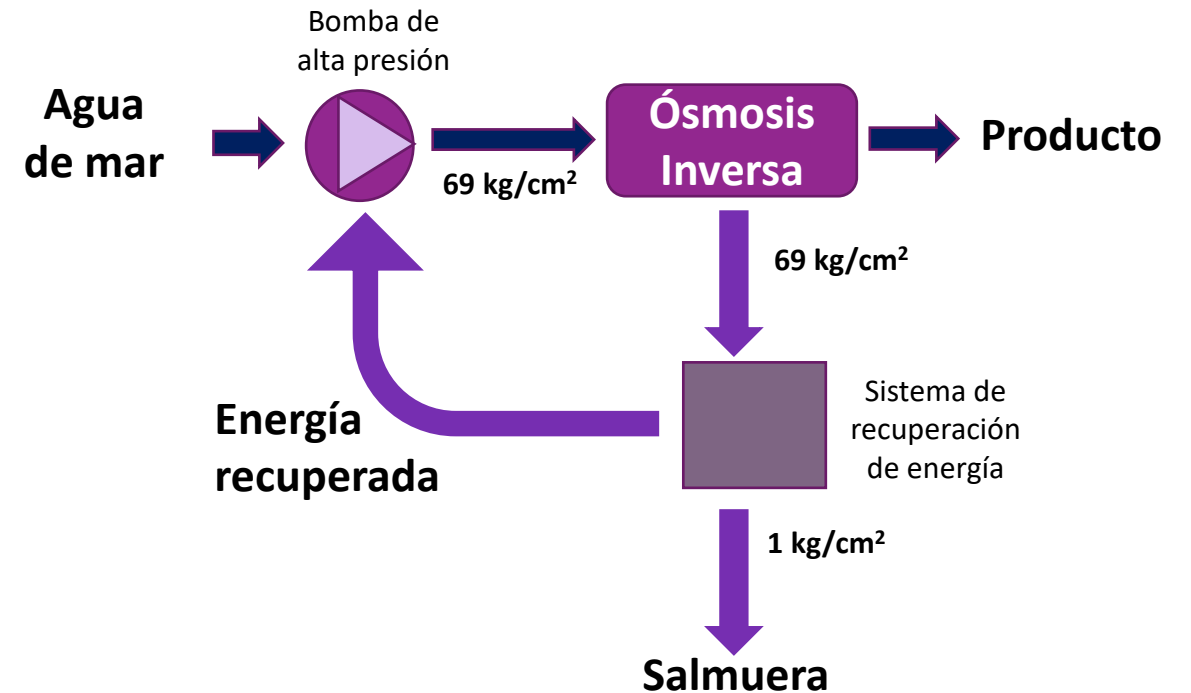
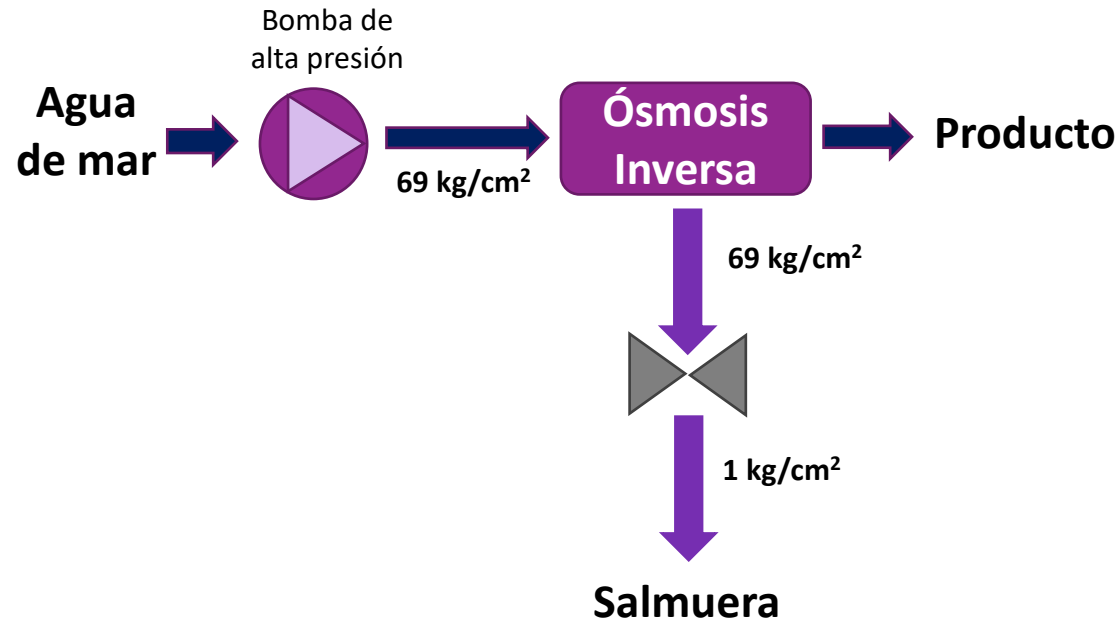
Atendiendo al número de pasos

1. Paso único: el agua de alimentación solo se introduce en un tubo de presión (descrito anteriormente)
2. Doble paso
 - El producto del primer bastidor alimenta al segundo
 - En la mayoría de los casos se emplea para reducir el contenido en Boro

SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA

OBJETIVO

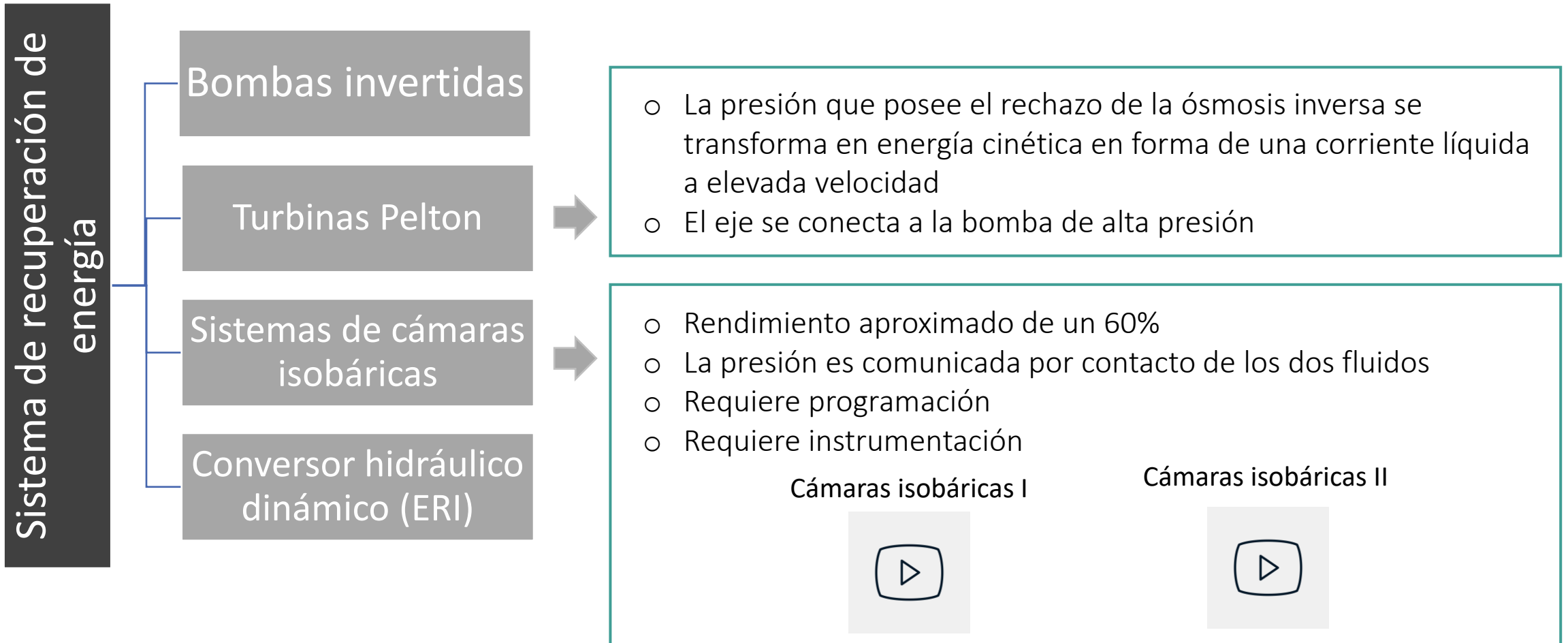
Recuperación de la energía residual de la salmuera



- La evolución de los sistemas de recuperación de energía han sido claves en la optimización de los procesos de ósmosis
- Uno de los principales objetivos de la Ósmosis es el desarrollo de sistemas que permitan reducir aún más el consumo energético

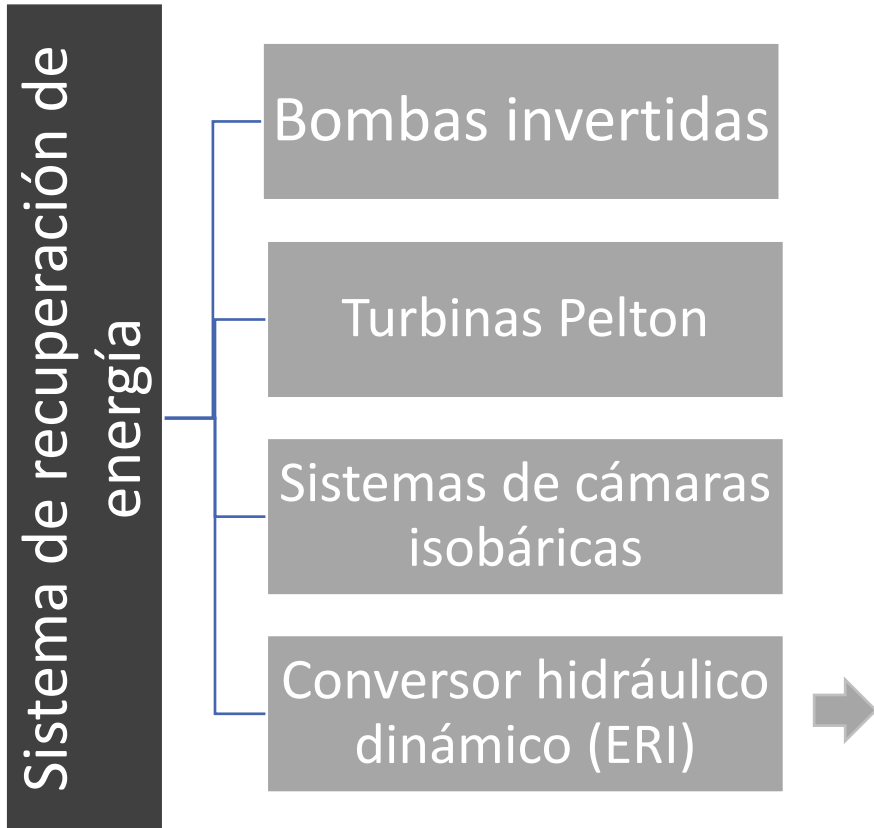
SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA

Sistemas ampliamente utilizados



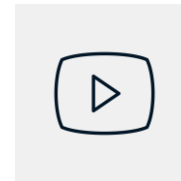
SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA

Sistemas ampliamente utilizados



- El concepto de funcionamiento es el mismo, pero en vez de un tubo es un bucle, con lo que el aprovechamiento es constante
- La eficacia puede alcanzar el 98%
- Equipo modular
- Fácil de operar e instalar
- Después de una parada es necesario eliminar todo el aire de la instalación porque podría entrar directamente a la bomba de alta presión

ERI



REMINERALIZACIÓN

Objetivos del postratamiento

Adecuar el agua producida para el uso urbano/agrícola

- Aumentar el pH (6,5-9,5)
- Aumentar la alcalinidad
- Cloración



- El producto de una ósmosis puede tener un IL de -5
- Se trata por tanto de ajustar un índice de Langelier adecuado

Índice de Langelier

- Permite analizar el carácter incrustante o corrosivo de una muestra de agua
- Es la diferencia entre el pH actual de trabajo y el pH de saturación de la muestra que se define como el pH teórico al que el agua en cuestión es estable, es decir, ni disuelve ni precipita el carbonato cálcico.
- Cuando una muestra presenta un Índice de Langelier inferior a 0 se dice que es corrosiva y por encima de 0 es incrustante.
- El agua potable debe poseer Índices de Langelier entre -0,5 y 0,5.

Importancia de la remineralización

- Distribuir aguas con un bajo contenido en sales puede producir enfermedades
- Problemas graves de corrosión en las conducciones
- Además de permitir obtener un agua que cumpla normativa vigente relativa a las calidades de agua para el consumo humano

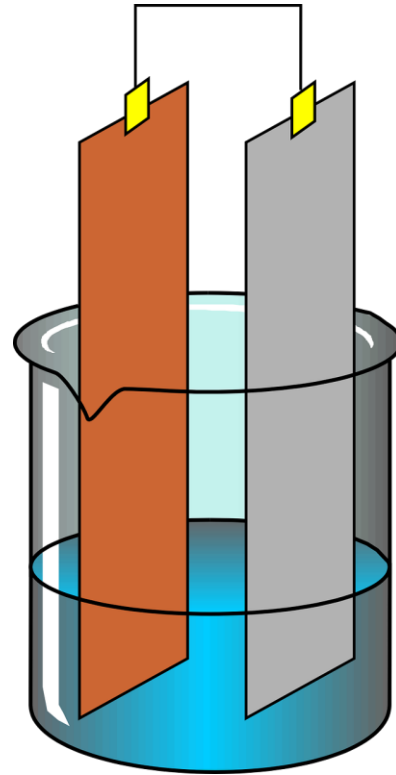
REMINERALIZACIÓN

Dosificación de calcita (CaCO_3)

- Permite incrementar el pH, la alcalinidad y la dureza
- Es una modificación de la dosificación con cal
- Es el sistema más económico
- Aumenta la alcalinidad sin incrementar la conductividad
- El sistema permite trabajar con la presión de salida del bastidor y libera el agua a presión ambiente
- Se alcanza una buena desmineralización con un tiempo de contacto de 10 -12 min y una concentración de CO_2 de 40 -50 ppm

Patente
desarrollada en
Canarias





Electrodiálisis reversible

FUNDAMENTOS DE LA ELECTRODIÁLISIS

Electrodiálisis

Proceso de **separación electroquímico** en el cual los iones son transferidos desde la corriente diluida a la concentrada **mediante una tensión de corriente continua aplicada entre membranas de intercambio iónico**

Una disolución salina bajo la influencia de una corriente continua, los cationes y aniones migran hasta los respectivos electrodos, tras un tiempo en el seno del fluido se podría obtener sin contenido salino. Este es la base de funcionamiento de los procesos de electrodiálisis.

- Para controlar el movimiento de los iones en el tanque que contiene la solución iónica y los electrodos se colocan membranas impermeables que conforman un compartimento estanco.
 - **Membrana aniónica:** permite el paso de los aniones, pero rechaza el paso de los cationes
 - **Membrana Catiónica:** permite el paso de los cationes, pero rechaza el paso de los aniones.
- Se requieren dos corrientes:
 - El flujo tratado:
 - ✓ Es el que pierde las sales
 - ✓ Es nuestro producto
 - El flujo de rechazo:
 - ✓ Recibe las sales
 - ✓ Es nuestra salmuera o concentrado

FUNDAMENTOS DE LA ELECTRODIALISIS

Electrodiálisis reversible:

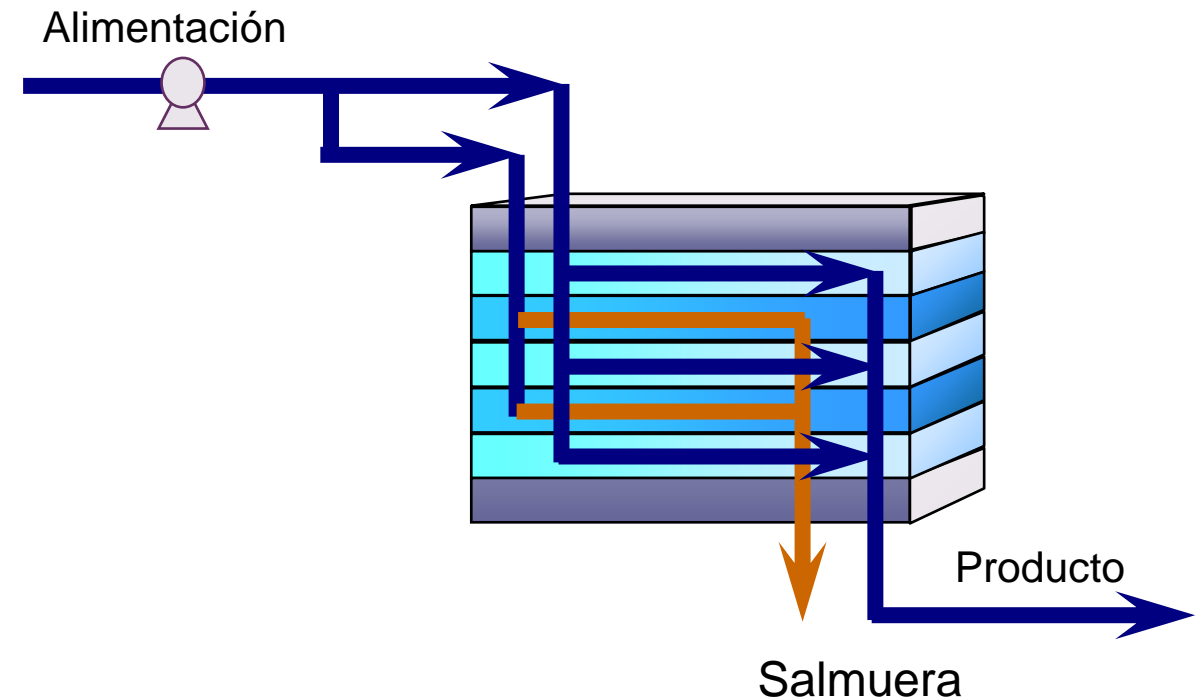
Proceso de electrodiálisis con un proceso continuo de autolimpieza mediante una **inversión periódica de la polaridad** de la tensión en corriente continua, la conmutación de la concentración y la dilución de los flujos. Los cambios de polaridad se hacen 3 o 4 veces a la hora

Proceso en continuo

- Si se quiere hacer un proceso industrializado es necesario alimentar a esos compartimentos de manera continua
- La primera opción sería alimentar a todos los compartimentos, por tanto, la mitad de ellos serán de producto

¿Cuál es su principal inconveniente?

El recobro sería del 50%



PROCESO INDUSTRIALIZADO

Proceso en continuo

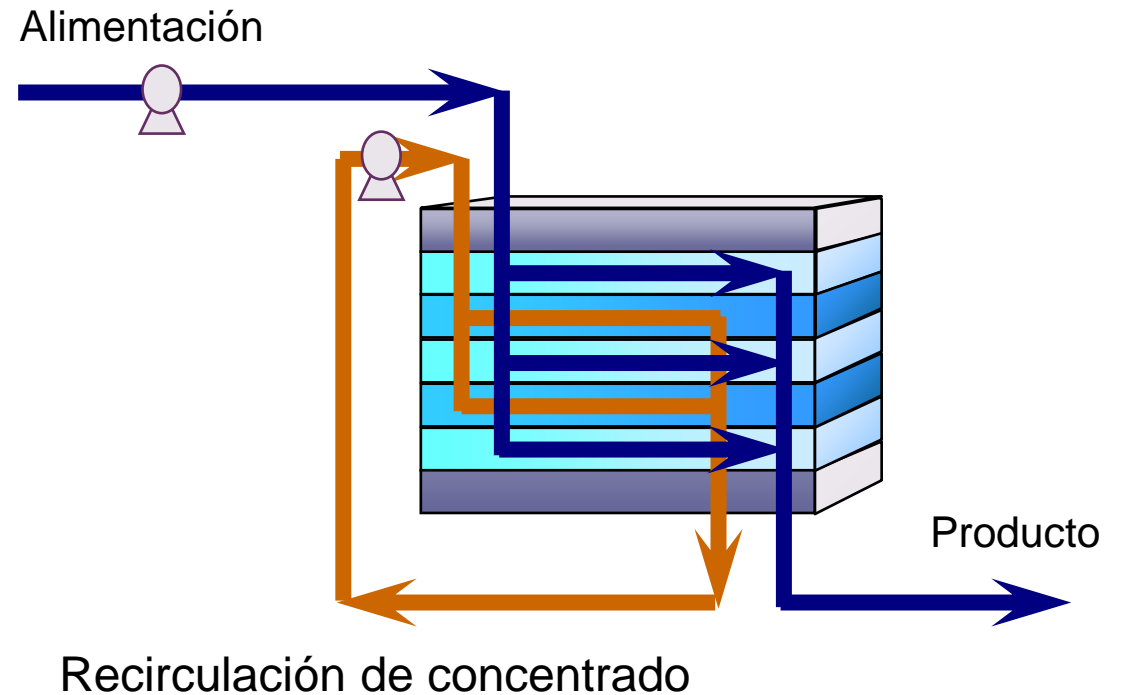
- Lo ideal sería obtener un recobro del 100%
- Es decir, recircular la salmuera a la alimentación

¿Cuál es su problema?

- La acumulación de sales en la corriente de recirculación

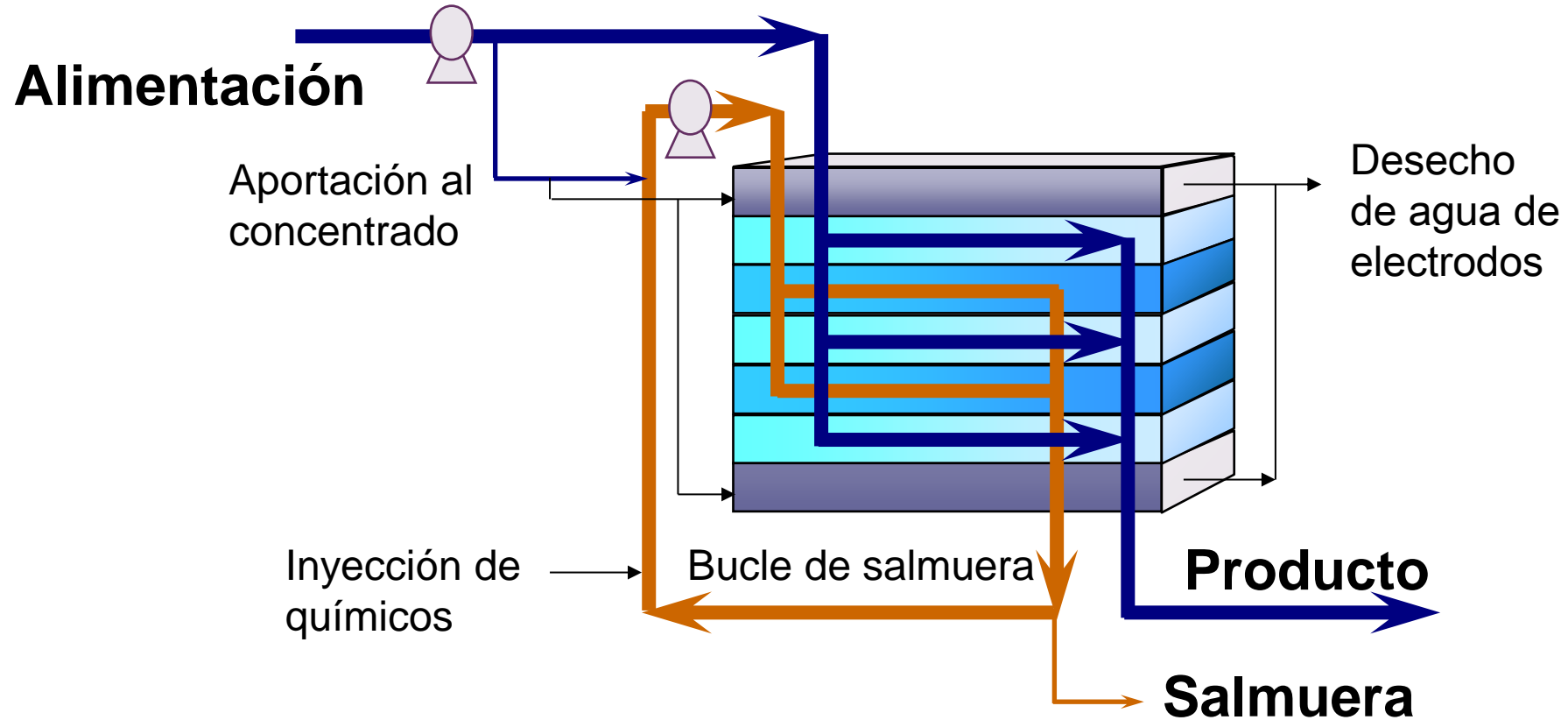
¿Pero hasta cuando podré concentrarlo?

- No depende del sistema
- Depende del tipo del agua: El sistema concentra sales y, por tanto, depende del producto de solubilidad de las sales



PROCESO INDUSTRIALIZADO

Proceso en continuo



- La aportación introduce agua fresca para impedir la sobresaturación de las sales
- La aportación controla la concentración del bucle de salmuera ya que el aportado es rechazado

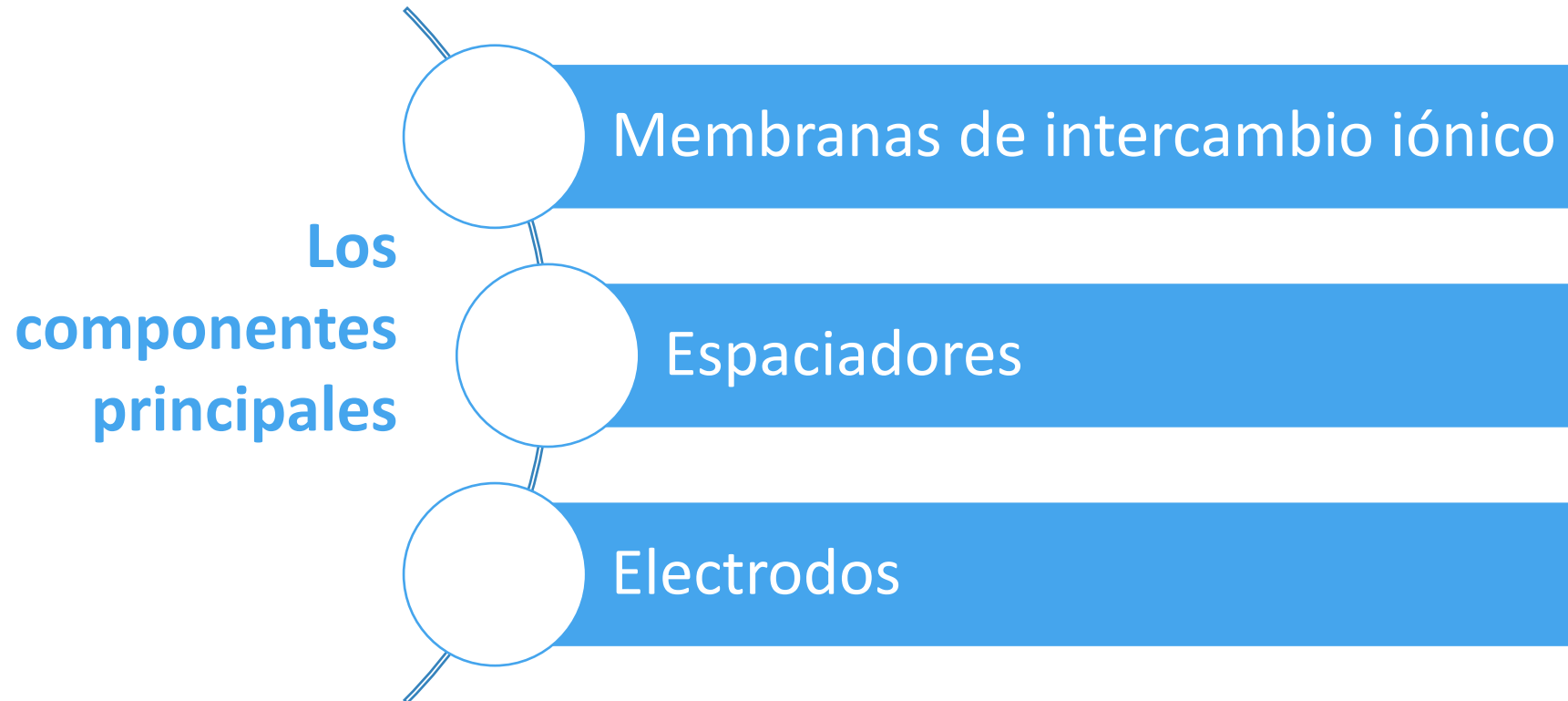
UNIDAD DE ELECTRODIALISIS REVERSIBLE

Par básico de membranas

- Espaciador
- Membrana aniónica
- Espaciador
- Membrana catiónica

Pila de membranas

- Está formada por 600 pares de membranas
- Existen nuevos diseños con 750 pares
- Tamaño: 1 x 0,5 x 2 (LxWxH)



MEMBRANAS DE ELECTRODIALISIS REVERSIBLE

Características generales de las membranas de EDR

- Presentar alta resistencia mecánica
- Resistentes al ensuciamiento orgánico
- Estables al cloro
- Baja resistencia eléctrica
- Resistencia química
- Alta transferencia de iones
- Larga vida útil
- Pequeño espesor (≈ 1 mm)
- **Impermeables**
- Membranas asimétricas:
 - Capa soporte: polimérica
 - Capa activa: cargada con un ion fijo que permite el movimiento de los iones móviles

MEMBRANAS DE ELECTRODIALISIS REVERSIBLE

Membranas Aniónicas

- La base es un cloruro de polivinilo benceno
- El ion fijo es normalmente amonio cuaternario
- El enlace químico de ion fijo es débil perdiendo eficacia de transferencia de iones con el tiempo
- Al estar cargada positivamente atrae coloides presentes en el agua generando ensuciamiento
- Con cada limpieza se va perdiendo su efectividad
- Su vida útil es menor

Membranas Catiónicas

- Es una membrana cargada negativamente
- Normalmente es un poliestireno con iones fijos cargados
- El ion fijo es normalmente compuestos sulfonatos
- El enlace químico del ion fijo es fuerte (resiste pH extremos)
- Las sustancias sulfonadas son altamente hidrófilas
- Repele los coloides
- Normalmente no presenta ensuciamiento orgánico

ESPACIADORES

Características

- Láminas de plástico tipo reja
- El flujo de agua circula tangencialmente a las membranas y los iones son transferidos a través de ellas
- El área efectiva del espaciador debe ser la máxima posible por que únicamente por ella se produce el proceso de desalación.
- El proceso de desalación es lento y requiere que pase un tiempo concreto ante el campo eléctrico
- El fluido al avanzar por el espaciador cambia sus propiedades debido al proceso de desalación

Funciones

- Separar las membranas evitando que se toquen
- Originar el camino para el agua
- Provocar la alternancia de flujos
- Generar la máxima turbulencia

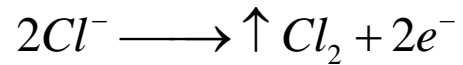
ELECTRODOS

Reacciones electroquímicas

En los electrodos tiene lugar reacciones de reducción y oxidación

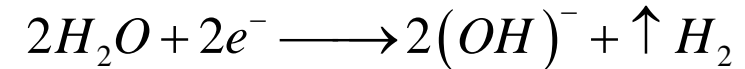
Ánodo

- Se forma una solución ácida
- Tiene la reacción de oxidación
- Se produce una corriente gaseosa



Cátodo

- Se forma una solución básica e incrustante
- Se dosifica ácido en continuo a esta corriente
- Tiene lugar la reacción de reducción



Características

- Compuesto de Titanio con una fina capa de platino
- Ambos electrodos son iguales, actúan como cátodo o ánodo en función de la polaridad
- La vida útil de un electrodo es alrededor de 20.000 horas de operación
- Es el elemento de la pila de electrodiálisis que presenta un coste más elevado
- El espaciador del compartimento de electrodos tiene más espesor, para aumentar la turbulencia reduciendo las incrustaciones y el desgaste del electrodo.
- En el compartimento de electrodos se introduce una corriente de agua diferente a la alimentada a las celdas con el fin de extraerla individualmente

RENDIMIENTO DE UN SISTEMA DE ELECTRODIÁLISIS

Ley de Faraday

- La ley de Faraday permite determinar la cantidad de corriente que hay que aplicar de manera continua a una solución salina para eliminar una cantidad de iones
- Se trata de una relación proporcional entre la corriente aplicada y el peso equivalente del ión
- Hay que aplicar 96.500 Amperios por segundo para eliminar un 1 gr equivalente de sal

$$P_{eq} = \frac{PM}{valencia}$$

Rendimiento de una pila de electrodialisis

- El proceso perfecto no existe, por tanto, aunque se aplique el número de Faraday no se alcanzará la separación deseada
- La comparación entre la separación que obtienes con la teórica permite establecer el rendimiento
- No analiza el consumo energético sino el rendimiento del trabajo de la corriente eléctrica
- Rendimientos > 95%

$$\eta = \frac{F \cdot Q \cdot \Delta N}{I \cdot n}$$

- F: constante de Faraday (96.500 A/s)
- Q: caudal tratado
- Δn : cambio de molaridad, es decir las sales eliminadas
- I: es la intensidad aplicada real
- n: es el número de pares de células. El agua se distribuye por todos los compartimentos, por tanto, la intensidad se aplica en cada parte. Si se incrementa el número de celdas se podrá separar más sales

RENDIMIENTO DE UN SISTEMA DE ELECTRODIÁLISIS

Intensidad aplicada

- El mismo amperio al pasar por cada par de celda desala permite alcanzar un grado de separación
- Un incremento de celdas se traduce en un incremento del rendimiento
- El crecimiento está limitado porque al aumentar el número de celdas se incrementa la resistencia eléctrica, por tanto, habrá que aplicar un voltaje mayor.
- Al final hay un mayor consumo energético

Ley de Ohm

$$V = I \cdot R$$

- V: Voltaje aplicado
- I: Intensidad que atraviesa la pila
- R: Resistencia eléctrica, nos permite analizar cómo se ensucian las membranas

$$R = R_{pila} + R_{fouling}$$

$$R_{pila} = n \cdot (R_{cat} + R_{ani} + 2R_{espa})$$

- R_{pila} : Resistencia eléctrica total de la pila
- R_{cat} : Resistencia eléctrica de una membrana catiónica
- R_{ani} : Resistencia eléctrica de una membrana aniónica
- R_{espa} : Resistencia eléctrica de un espaciador

Naturaleza iónica

- Mayor rendimiento en iones divalentes (Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; presentan una mayor movilidad iónica frente a, por ejemplo, el carbonato)
- Un incremento en la temperatura se traduce en un mayor rendimiento (Reducción de la resistencia 2%/°C)

RENDIMIENTO DE UN SISTEMA DE ELECTRODIÁLISIS

Límite de operación. Polarización

Se define **polarización** como el punto en el que la **cantidad de corriente por unidad de área de una membrana excede la capacidad de carga** actual de la solución de trabajo.

Por encima de ese punto la corriente continua aplicada se utiliza en la **disociación de la molécula de agua**. Los iones OH^- son transferidos a través de la membrana aniónica que, combinados con el equilibrio de los carbonatos y asociándose a los iones disponibles en el compartimento de salmuera, pueden generar un precipitado sólido

Cambio de polaridad

- Control del ensuciamiento orgánico mediante la eliminación de los coloides
- Favorece la eliminación de incrustaciones depositadas sobre la membrana. En una polaridad se concentra y en la otra se diluye
- Permite que las plantas de EDR trabajen a recobros cercanos a los 90%
- Hay que implementar en el diseño de la instalación sistemas que permitan la inversión de la polaridad


PRETRATAMIENTO

Obligatorio

- Filtración por filtros de cartucho: es el mismo sistema que para la OI (paso de 10 micras)

Opcional

- Filtros de arena: antes de los filtros de cartucho similares a los empleados en OI
- Eliminación de materia orgánica: coagulación-floculación
 - Dosificación de polímeros
 - Cloruro Férrico
- Acidificación de la alimentación: prevenir la incrustación



Procesos de Desalación Térmica

PROCESOS DE DESALACIÓN TÉRMICA

Conceptos generales

- El proceso se basa en emplear energía para evaporar el agua y luego condensarla de nuevo
- Son procesos que requieren grandes fuentes de calor o electricidad
- Son procesos ideales para refinerías y centrales eléctricas

Procesos térmicos de desalación

Evaporación
solar

Multiflash
(MDF)

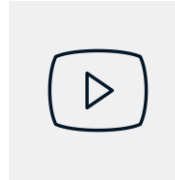
Multiefecto
(MED)

EVAPORACIÓN SOLAR

Conceptos generales

- Es el proceso más primitivo de desalación y de este proceso se basan el resto de los procesos térmicos
- Actualmente se están desarrollando sistemas solares que incrementen su rendimiento y hagan que este proceso sea competitivo

Ejemplos de unidades de evaporador solar



SISTEMA MULTIFLASH (MSF)

Conceptos generales

- Es el proceso térmico más extendido en el mundo
- Consta de tres secciones principales:
 - Entrada de calor
 - Etapas intermedias donde tiene lugar la recuperación de calor
 - Rechazo de calor

Fundamento de operación

- Se basa en someter el agua de alimentación a una depresión dentro de un recinto cerrado produciendo vapor que luego es condensado.

Destilación Flash

- Es una operación de separación que se basa en aplicar una depresión a una mezcla líquida saturada
- Se trata de buscar de manera “abrupta” las condiciones de presión y temperatura que conduzcan al fraccionamiento de la mezcla en dos fracciones una líquida y otra vapor

SISTEMA MULTIEFECTO (MED)

Conceptos generales

- Proceso más antiguo de desalinización
- Procesos similares a la MSF
- El proceso se diferencia en la forma que tiene lugar la evaporación
- En este proceso el agua salobre se dispersa sobre tubos horizontales por los que circula vapor
- El vapor suministrado al sistema permite evaporar el agua de alimentación que es condensado con la propia agua de alimentación
- El consumo energético se establece en $6,40 \cdot 10^5$ kcal/m³ de agua
- El vapor producido en una unidad se utiliza como calefacción del siguiente efecto
- Se utilizan entre 12 y 21 evaporadores