

Jornada sobre regeneración de aguas urbanas depuradas y utilización en la agricultura en la Comunidad Valenciana.

Dirección General del Agua. 17 Octubre 2022.

Presente y futuro de la ósmosis de aguas regeneradas

Domingo Zarzo Martínez

Director de Innovación y Proyectos Estratégicos Sacyr Agua
Presidente de la Asociación Española de Desalación y Reutilización (AEDyR)

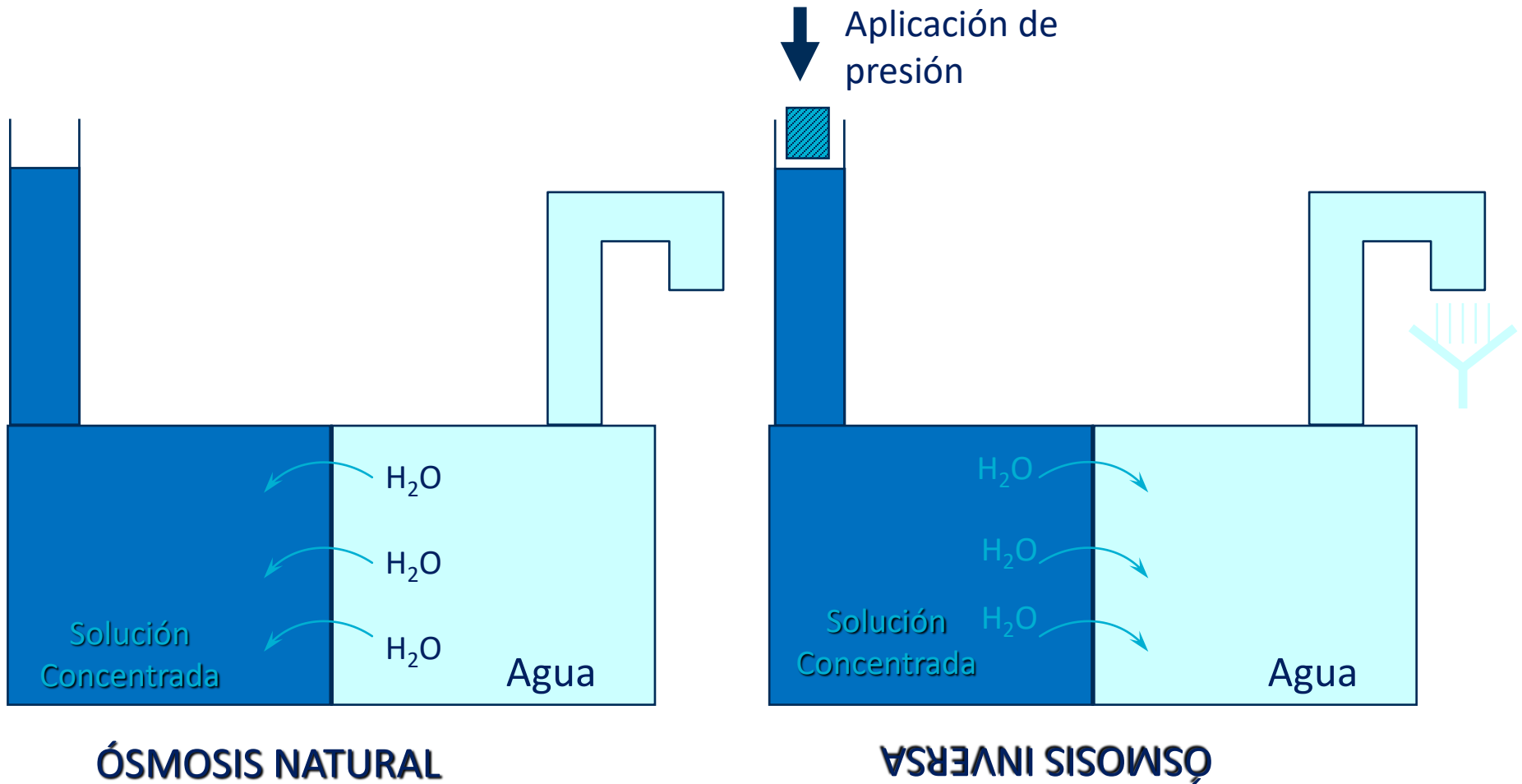


sacyr agua
CONCESIONES



Conceptos básicos de la ósmosis inversa

Fundamento de la ósmosis inversa



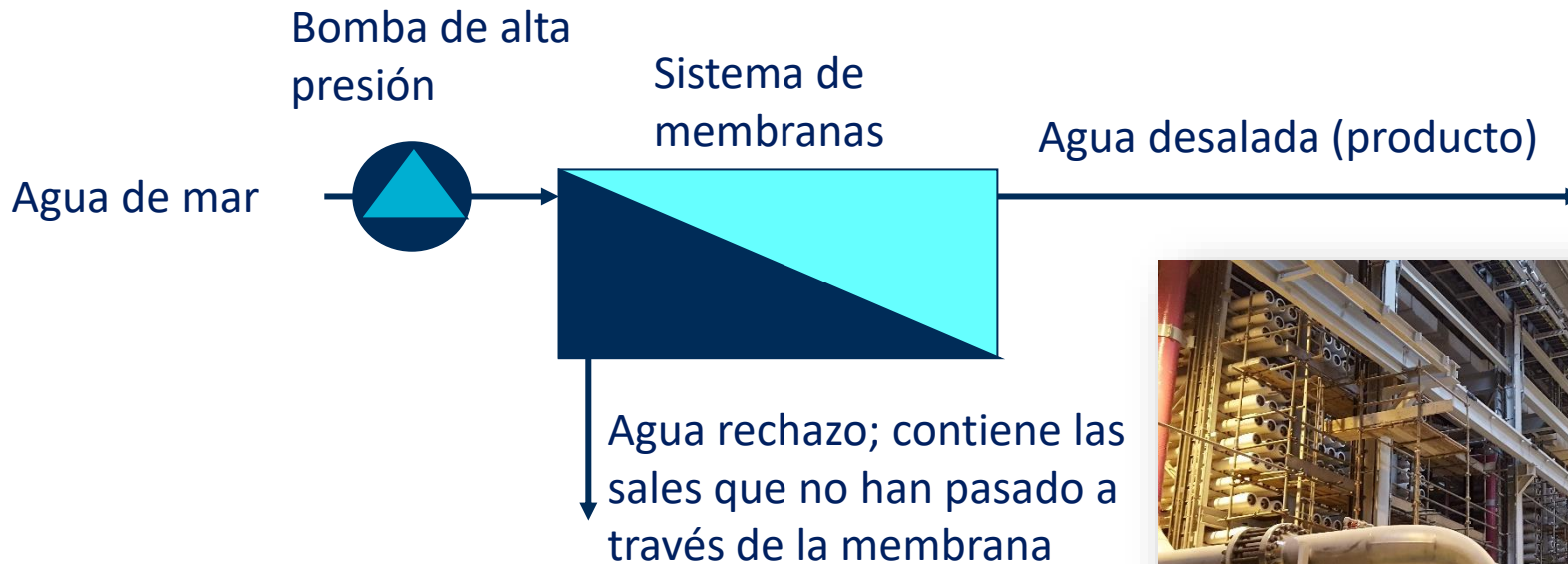
La ósmosis es un fenómeno natural que rige, por ejemplo, el intercambio de agua y nutrientes en la membrana celular o el intercambio de las raíces de las plantas con el suelo

Las membranas



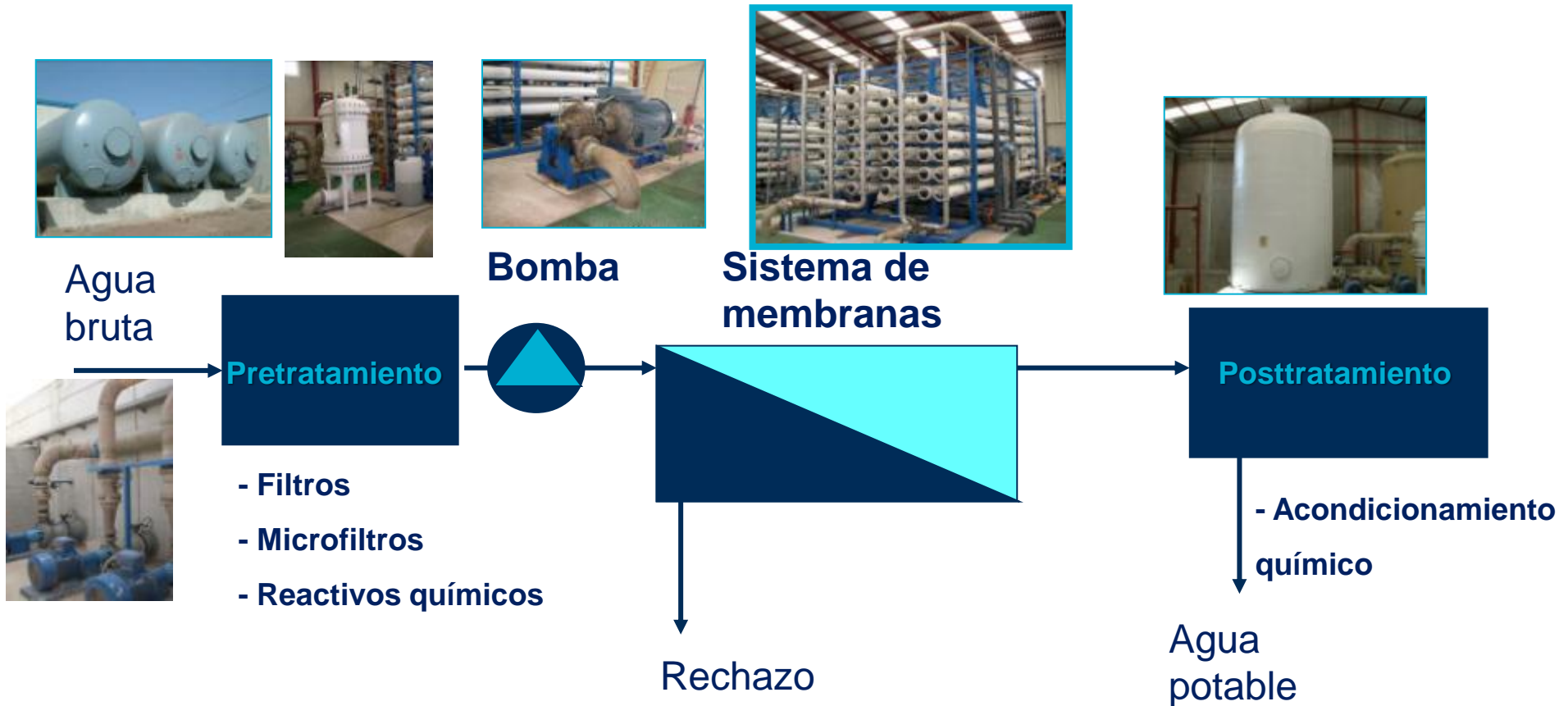
Ósmosis inversa industrial

La ósmosis inversa industrial se basa en impulsar el agua por medio de una bomba de alta presión para forzarla a pasar a través de una membrana, que deja pasar el agua pero no las sales.



Etapas

Los elementos de que se compone son; Pretratamiento (para evitar daños a las membranas), sistema de bombeo de alta presión, bastidor de membranas y posttratamiento (para acondicionar el agua a su uso).



$$\text{CONVERSIÓN} = \frac{\text{Caudal de producto}}{\text{Caudal de aporte}} \times 100$$

Limitantes de la conversión:

Precipitación de sales minerales insolubles

SULFATOS (CaSO_4 , BaSO_4 , SrSO_4)

CARBONATOS (CaCO_3)

SILICE (SiO_2); coloidal / reactiva o iónica; forma compuestos del tipo silicoaluminatos con Al y Fe

FLUOR (CaF_2)

Factores que afectan: Producto de solubilidad, Concentración en el agua de aporte y conversión de la planta

AGUAS SALOBRES: 60-80 %

AGUA DE MAR: 40-60 %

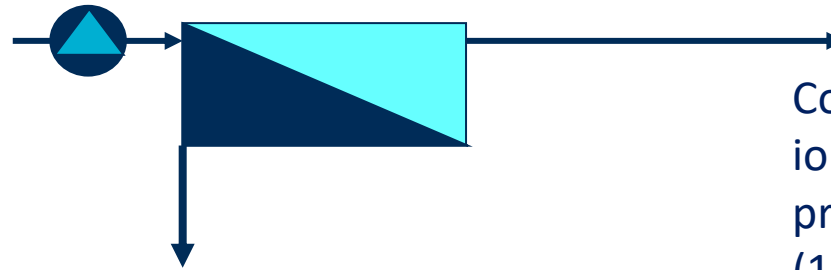
Conversión / Recovery

Caudal 100 litros

Concentración de un ion específico = X

Recovery = 75%

Corte de sales = 99%

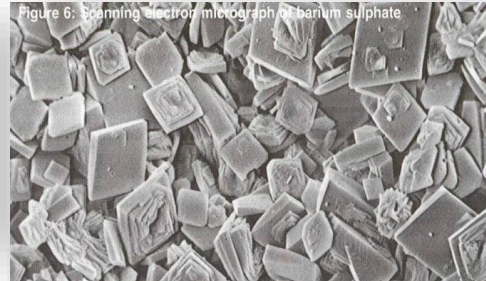
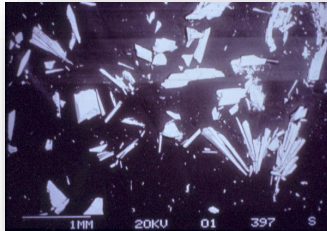


Caudal 75 litros

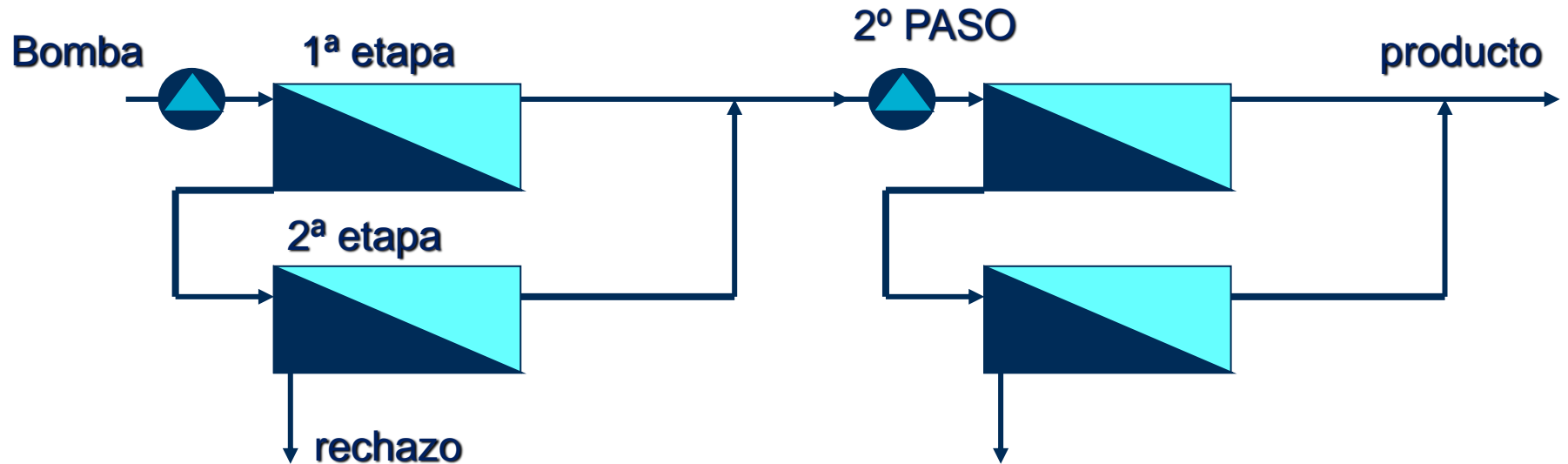
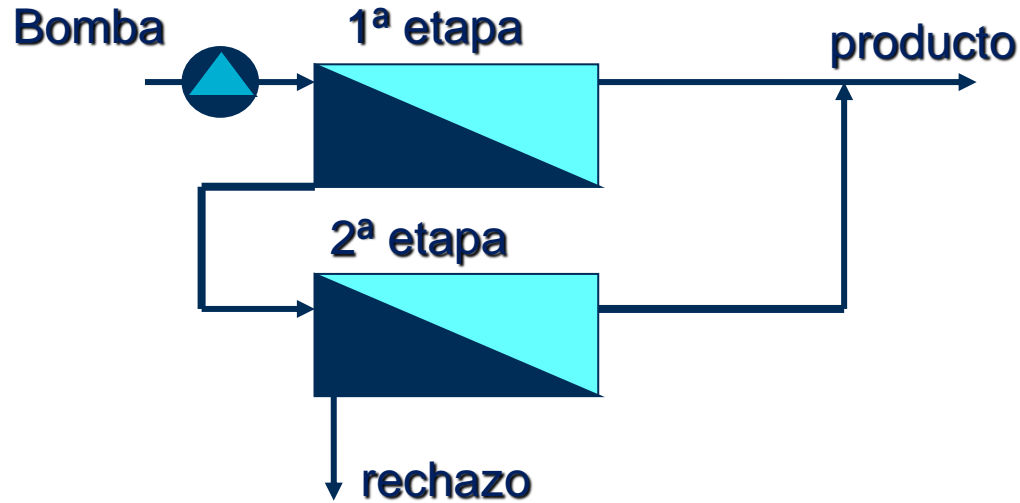
Concentración del ion específico en el producto = (1% de X)

Caudal 25 litros

Concentración del ion específico en la salmuera = aprox. 4X



Concepto de etapas y pasos



Hay varias combinaciones de este esquema, con o sin bomba intermedia, con cada paso con 1 ó 2 etapas, recirculando o no el rechazo del 2º paso al aporte, etc.

Parámetros de diseño

El diseño de todos los procesos de filtración, incluidos los de membranas, se basan en la velocidad específica de filtración, es decir, unidad de caudal por m^2 de superficie filtrante ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ ó m/h)

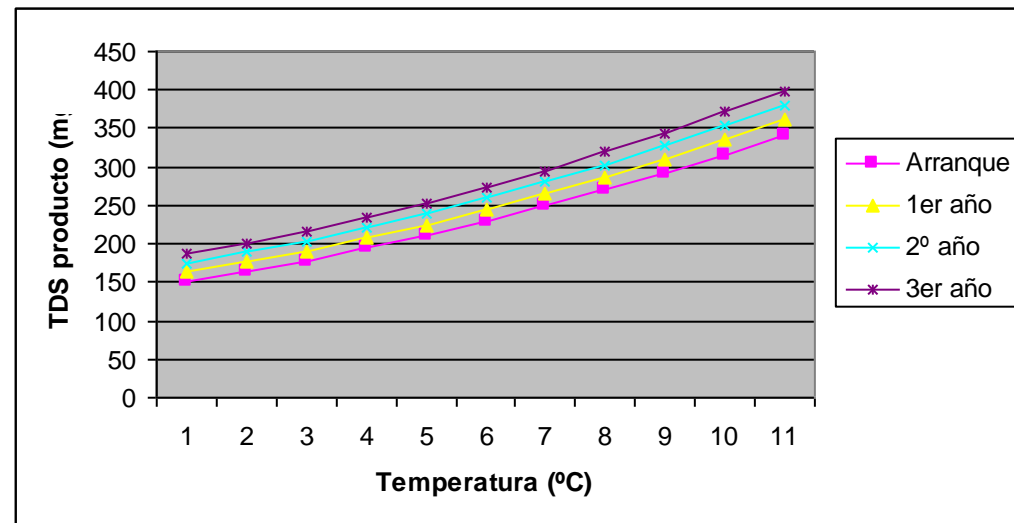
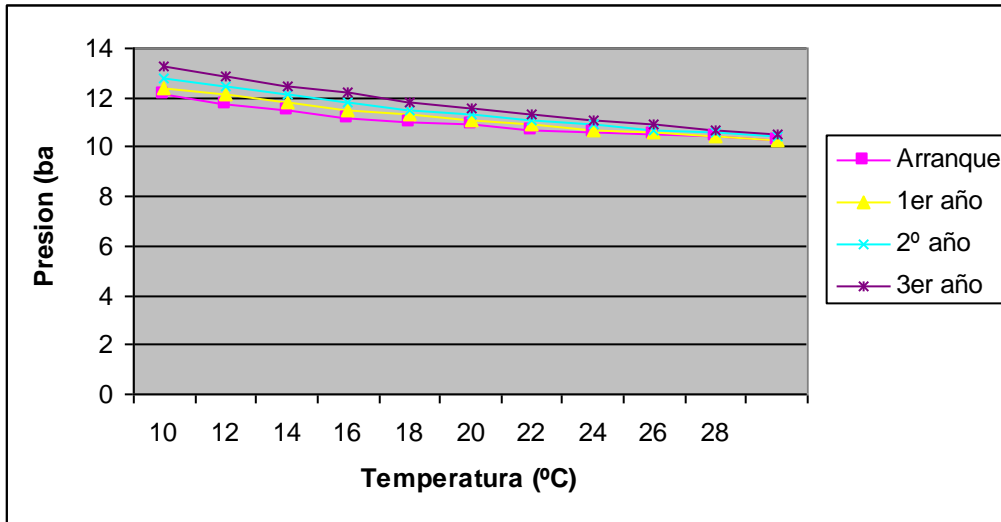
A mayor velocidad de diseño necesitaremos menor superficie de membrana y por tanto mayor inversión, pero habrá un ensuciamiento más rápido y mayores costes de operación.

A menor velocidad de diseño necesitamos más superficie (y por tanto mayor inversión) pero tendremos menores costes de operación.

Por tanto hay un compromiso entre inversión y operación

En el caso de aguas residuales o de mala calidad las velocidades de diseño deben ser más bajas. El pretratamiento tendrá que ser asimismo más robusto.

Efecto de la temperatura sobre la operación



Simulación realizada con programa de membranas, partiendo de agua de 3000 de TDS (solo Cl⁻ y Na⁺) al 75% de conversión

Elección de los pretratamientos

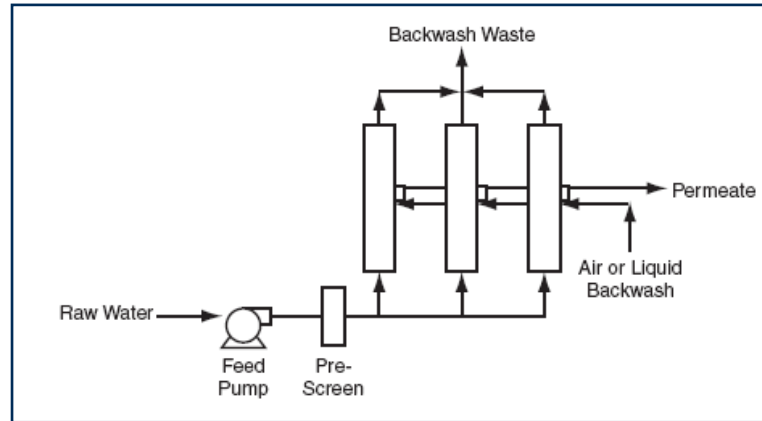
Los pretratamientos físicos convencionales están desarrollados desde hace muchos años. Se pueden instalar en una o varias etapas en serie, con distintos materiales filtrantes o combinaciones de varios. Algunos sistemas de filtración en continuo (tipo Dynasand) han dado buenos resultados en terciarios en Canarias.

La Micro/Ultrafiltración teóricamente suministra mayor calidad de agua a un coste de inversión similar pero también tiene sus inconvenientes:

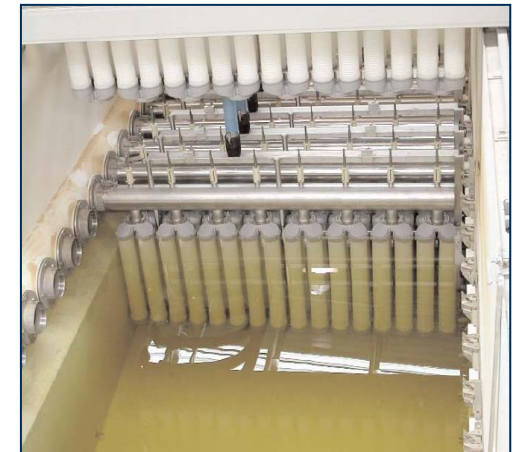
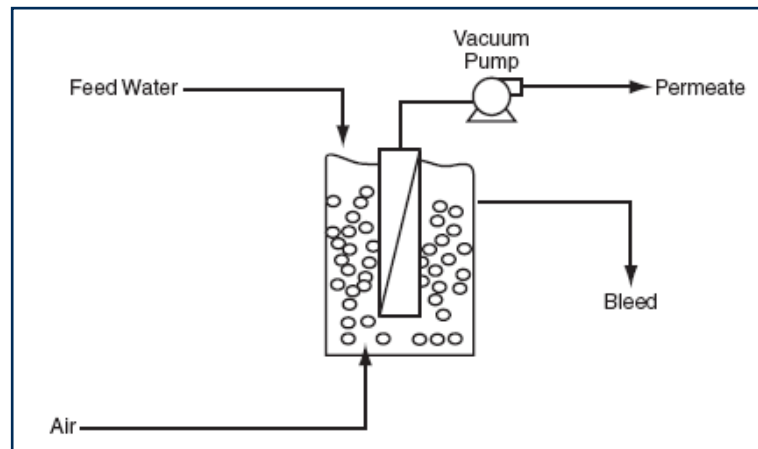
- Sistemas no intercambiables entre sí (distintas químicas de membrana, configuraciones, tipo de módulos, forma de filtración, sistemas de limpieza, etc.)
- Se puede trasladar el problema de ensuciamiento de las membranas de ósmosis a las de MF/UF y requieren de limpiezas, químicos, reposición, etc.
- Los contaminantes orgánicos disueltos pasan igualmente a través de las membranas ensuciando las de ósmosis
- **NECESARIO PILOTAJE PARA DECIDIR. CADA AGUA ES DISTINTA**

Configuraciones de los sistemas de UF/MF

- **Sistemas a presión:**



- **Sistemas por vacío:**



- Junto a estos elementos básicos, las instalaciones de UF y MF incluyen otros equipos auxiliares: sistemas de limpieza de membranas, sistemas de inyección de aire para limpieza, equipos de dosificación química, elementos para verificar la integridad de las membranas, etc. Considerar que el tipo de material y la configuración de la membrana van a condicionar su modo de operación y de limpieza (proceso muy frecuente en plantas de UF y MF). Gran importancia de realizar un pilotaje previo con diferentes alternativas.

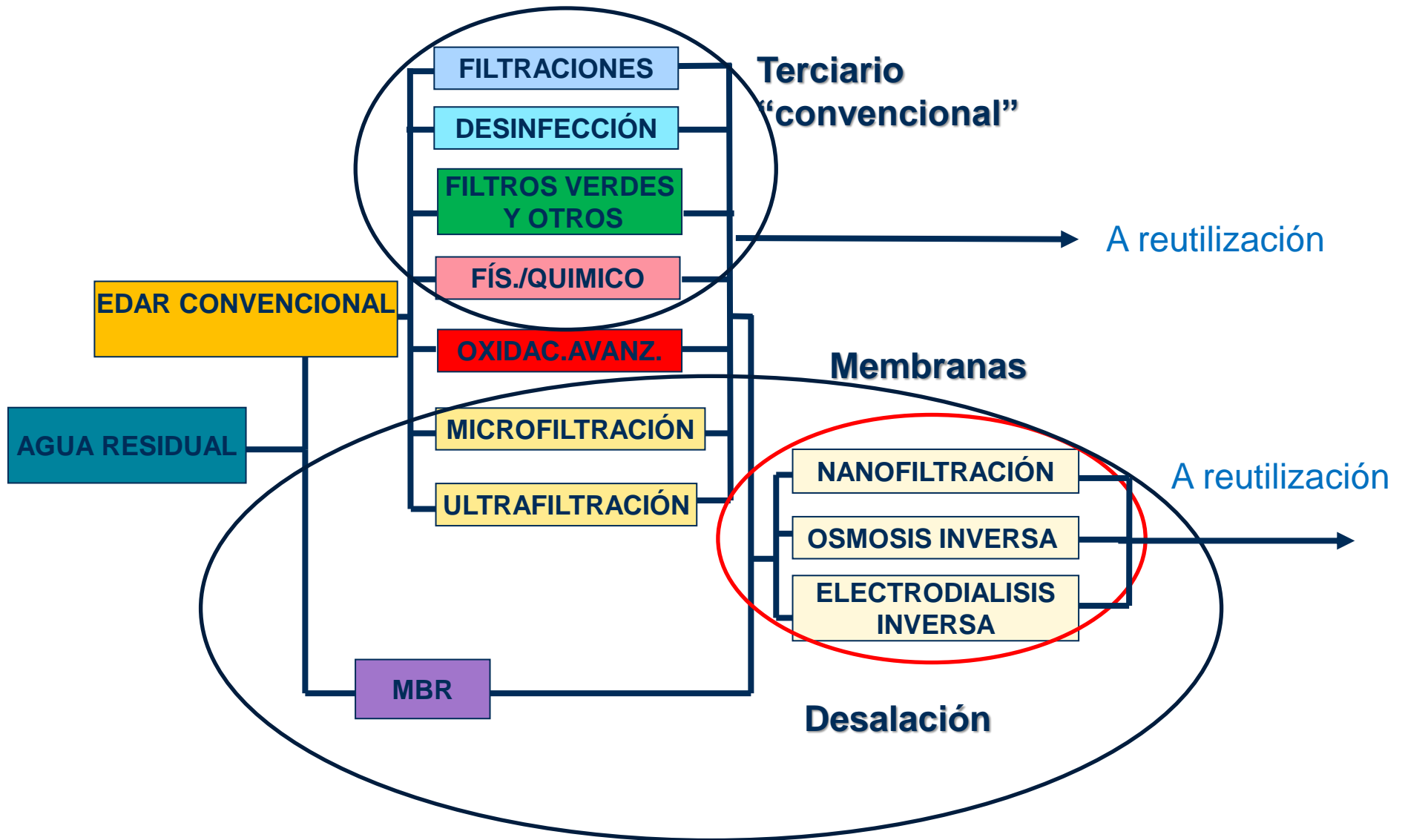


Tratamientos de aguas
regeneradas con membranas

Tecnologías de desalación para regeneración

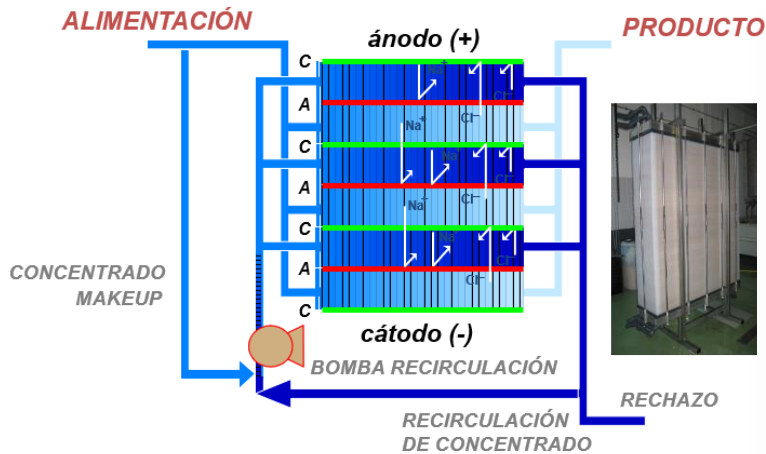
- Las tecnologías de desalación son necesarias para los tratamientos terciarios cuando queremos:
 - Reducir salinidad
 - Reducir sales específicas (Sulfatos, Nitratos, etc.)
 - Reducir compuestos tóxicos tales como metales pesados, pesticidas, etc.
 - Reducir CECs
 - Obtener un agua de alta calidad para producir agua potable, agua para agricultura o aplicaciones industriales.

Tratamientos terciarios de agua residual



Tecnologías de membranas

Las tres tecnologías de membranas más utilizadas son la Ósmosis Inversa (RO), Electrodiálisis Reversible (EDR) y Nanofiltración (NF). La Micro (MF) y Ultrafiltración (UF) son tecnologías de membranas pero no son tecnologías de desalación porque dejan pasar las sales (eliminan otros componentes del agua como sólidos en suspensión, materia orgánica o microorganismos, pero no sales).



La EDR usa corriente continua para separar las sales cuando van hacia los electrodos, según su carga eléctrica; los iones positivos o negativos son interceptados por medio de membranas selectivas generando cámaras con sales y cámaras sin sales (producto)

De la ósmosis inversa ya hemos hablado. La Nanofiltración es prácticamente idéntica a la ósmosis inversa, solo que su membrana deja pasar más sales. Trabaja a menor presión pero la salinidad del agua producto es superior. Se usa para eliminar sulfatos u otras sales divalentes (reduce la dureza del agua) o pesticidas u otros contaminantes.

Consideraciones sobre RO/NF para regeneración

Consideraciones para el tratamiento de aguas residuales mediante membranas:


- El agua es de peor calidad por lo que los pretratamientos deben ser más intensos
- Hay más riesgo de fouling (ensuciamiento), principalmente de origen orgánico y microbiológico
- Frecuentes limpiezas de membranas e importante la desinfección
- Hay también riesgos de precipitación por fósforo si está presente en el agua tratada
- Los flujos de diseño son más bajos que para agua de mayor calidad (por tanto se necesita mayor superficie de membrana)
- La EDR se comporta bien de cara al ensuciamiento, pero tenemos que tener en cuenta que no es una barrera física como la RO o NF ya que cualquier sustancia que no tenga carga eléctrica pasará al agua producto
- Recomendable instalar físico-químico previo si la carga es alta
- Recomendable instalar siempre filtro de cartuchos previo a ósmosis
- Importante hacer pilotaje previo para decidir la línea de tratamiento

Uso de ósmosis inversa en terciarios

- Es la tecnología más frecuentemente usada para desalación de agua de cualquier tipo, incluyendo reutilización
- Es una barrera física para cualquier tipo de contaminante, capaz de producir agua potable prácticamente a partir de cualquier tipo de agua (con un tratamiento adecuado)
- Tiene un consumo de energía moderado para aguas salobres (inferior a 1 Kw-h/m³)
- El problema para tratamientos terciarios es el fouling, principalmente por materia orgánica y microbiología, lo que implica la necesidad de un pretratamiento más intenso.



Ejemplos de terciarios en España con membranas

Proyecto	EDAR CAMP DE TARRAGONA	EDAR CAMPO DE DALIAS	EDAR BENIDORM	EDAR RINCON DE LEON	EDAR SAN PEDRO DEL PINATAR	EDAR VALLE DE SAN LORENZO	EDAR TENERIFE NORTE	EDAR FONT DE LA PEDRA
Foto								
Caudal (m ³ /día) (reuso)	19.000	10.600	30.000	30.000	20.000	8.000	15.000 (7.000 MBR + 4.000 EDR)	15.000
Ubicación	Tarragona	Campo de Dalías, Andalucía	Benidorm, Alicante	Alicante	San Pedro del Pinatar, Murcia	Tenerife, Islas Canarias	Tenerife, Islas Canarias	Muro de Alcoy, Alicante
Tratamiento (solo terciario)	Físico-químico, microtamiz, filtración de doble etapa, RO de doble paso, desinfección,	Tamizado, MF, RO	Físico-químico, tamizado, UF sumergida, RO , desinfección	Físico-químico, tamizado, UF sumergida, RO , desinfección	MBR	Filtración de arena, micro-filtración de cartuchos. EDR	MBR + EDR	MBR
Uso del agua	Industria	Mixto agricultura/ Recarga de acuíferos	Agricultura	Agricultura	Agricultura	Agricultura	Agricultura	Industria

Lista no-exhaustiva. Preparación propia.

Ejemplos de terciario con ósmosis

Xeresa Golf (Benidorm). No operativa actualmente

Planta	
Nombre:	Xeresa Golf
Localización:	Benidorm, España
Caudal (m3/día):	4.200 RO + 800 blending
Tecnología:	Doble etapa de filtración + filtro cartuchos + UV + RO
Origen del agua/calidad:	Tratamiento secundario
Uso del agua:	Riego de campo de golf



Ejemplo de terciario con ósmosis

RO con pretratamiento convencional:

- Filtración sobre filtro autolimpiable de malla de 100 micras
- Filtración sobre arena
- Filtración sobre arena y antracita
- Microfiltración de cartuchos
- Desinfección Ultravioleta
- Membranas antifouling



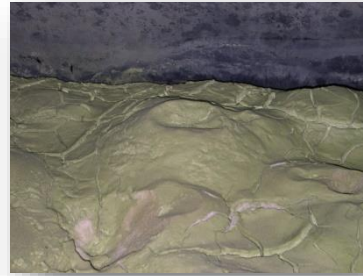
Ejemplo de terciario con ósmosis

Principal reto: agua bruta de peor calidad de la esperada

Turbidez: 10-25 NTU
SS: 18-50 mg/l
pH: 8,5-9,5
DBO: 16-60 mg/l
DQO: 30-120 mg/l
Nitratos: 7-8 mg/l
Nitritos: 1-2 mg/l
Fosfatos; 2,5 ppm



Pretratamiento
inmanejable



Filtros
continuamente
sucios



La solución

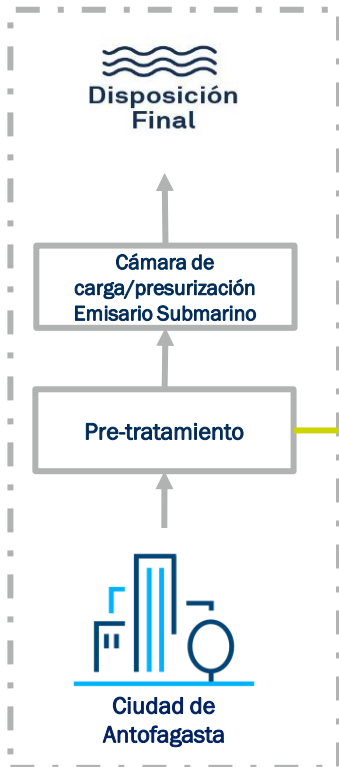


- Cero químicos
- Instalación de membranas usadas en primera posición como “fusibles”
- Contra todo pronóstico la planta estuvo trabajando durante el primer año de operación sin una sola limpieza química ni problema

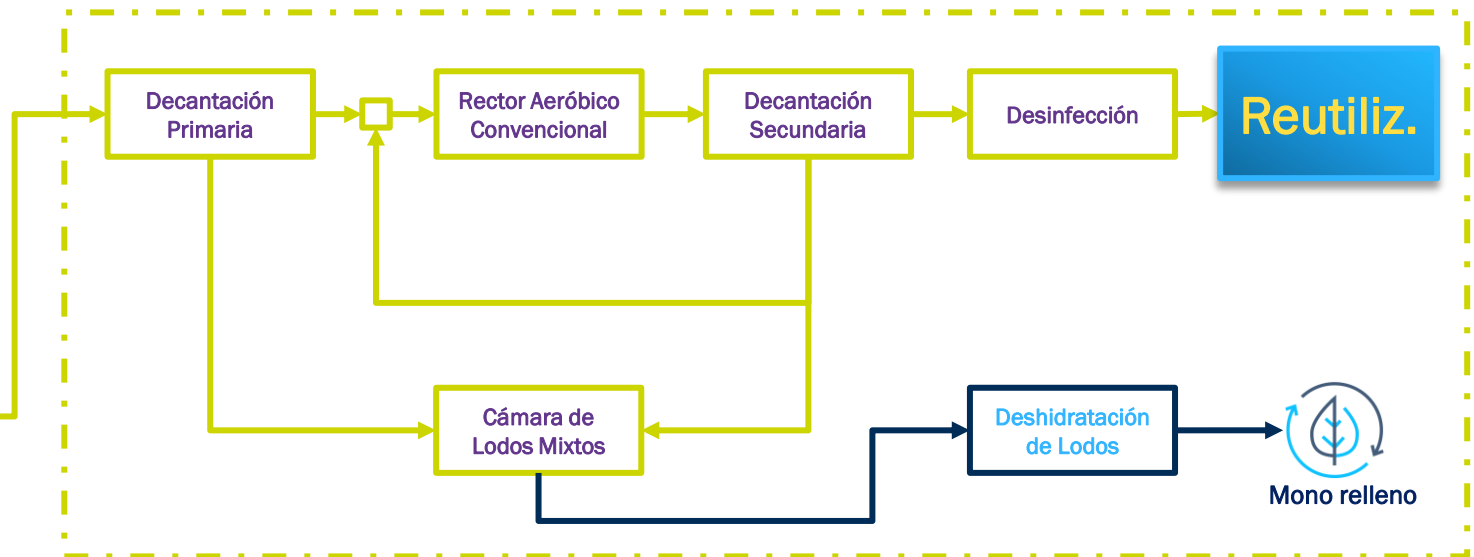
Ejemplo de terciario con ósmosis y UF

Reutilización industrial en Antofagasta, Chile (uso de agua urbana reutilizada para industria)

Sistema de Tratamiento del 90% de las Aguas Servidas



Sistema de producción de Agua Industrial, depura el 10 % de las Aguas Servidas, para su Reúso.

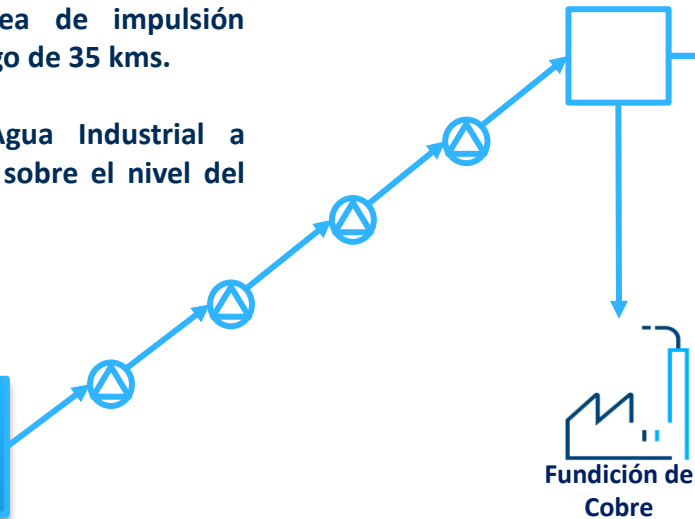


Ejemplo de terciario con ósmosis y UF

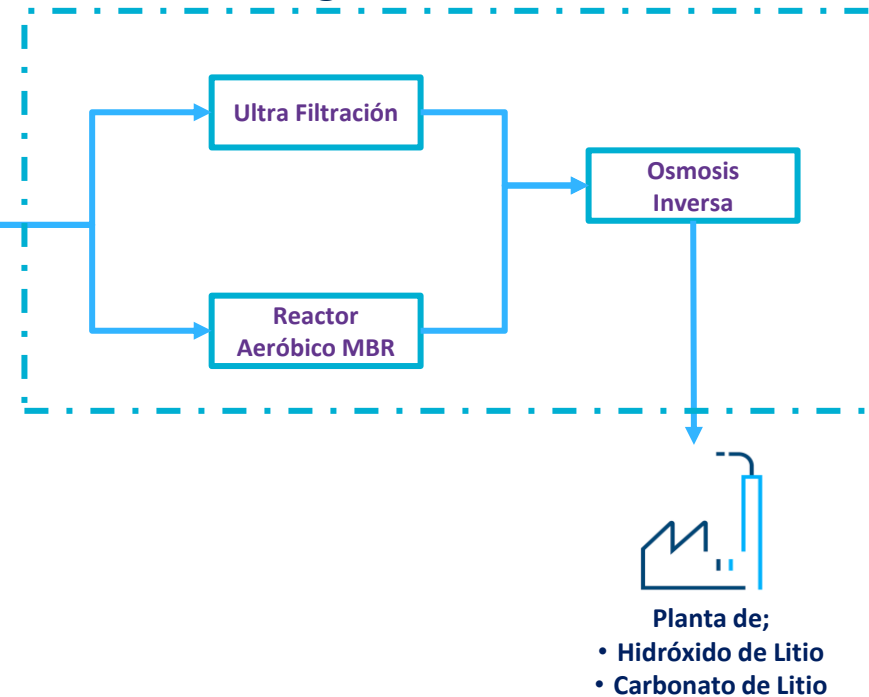
Para reutilizar el agua en la industria minera debemos.....

- Impulsar 120 l/s, por medio de 4 estaciones.
- Nuestra línea de impulsión tiene un largo de 35 kms.
- Elevamos Agua Industrial a 600 metros sobre el nivel del mar.

Reutiliz.



Sistema de producción de Agua Ultra Pura.



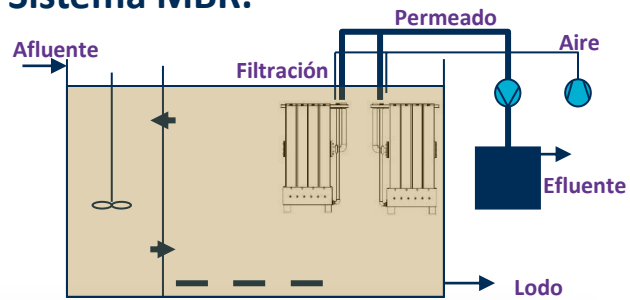
Ejemplo de terciario con ósmosis y UF



EDAR URBANA EN LA COSTA,
CIUDAD DE ANTOFAGASTA
(CHILE)

Impulsiones

Sistema MBR.



Sistema UF.



Sistema Osmosis.





Nuevas tendencias e
investigación

Regulación Europea para agricultura

Cuadro 2 Reglamento Europeo. Requisitos mínimos de calidad de las aguas regeneradas para el riego agrícola

Clase de calidad	Tratamiento indicativo	Requisitos de calidad				
		E. Coli (num/100 ml)	DBO5 (mg/l)	STS (mg/l)	Turbidez (NTU)	Otros
A	Tratamiento secundario, filtración y desinfección	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 5	Legionella spp: < 1000 UFC/l cuando exista riesgo de aerosolización
B	Tratamiento secundario y desinfección	≤ 100	De conformidad con la Directiva 91/271/CEE (anexo I, cuadro I)	De conformidad con la Directiva 91/271/CEE (anexo I, cuadro I)	-	Nematodos intestinales (huevos de helmintos): ≤ 1 huevo/l para el riego de pastos o forraje (cumplimiento en un porcentaje igual o superior al 90% de las muestras)
C	Tratamiento secundario y desinfección	≤ 1000			-	
D	Tratamiento secundario y desinfección	≤ 10000			-	

Evidentemente con ósmosis inversa se consiguen estos parámetros e incluso eliminar pesticidas, CECs, etc

y.....¿Reutilización para agua potable?

Percepción del CIUDADANO: ¿ESTAMOS PREPARADOS PARA INCORPORAR EN NUESTRAS REGULACIONES EL USO POTABLE DIRECTO?



...Probablemente si, y más teniendo en cuenta que esto ya ocurre de forma indirecta y, a menudo, no planificada

Ejemplos de uso de agua regenerada para potabilización

Beenyup, **Western Australia**, UF + RO –
inyección en acuífero

EEUU (principalmente en California (Santa Clara Valley, Orange County, San Diego, El Paso, etc.).
UF + RO – acuíferos. Water Factory 21 en ensayo desde 1973 (inicialmente para frenar intrusión salina en acuífero)

Singapur (Newater)

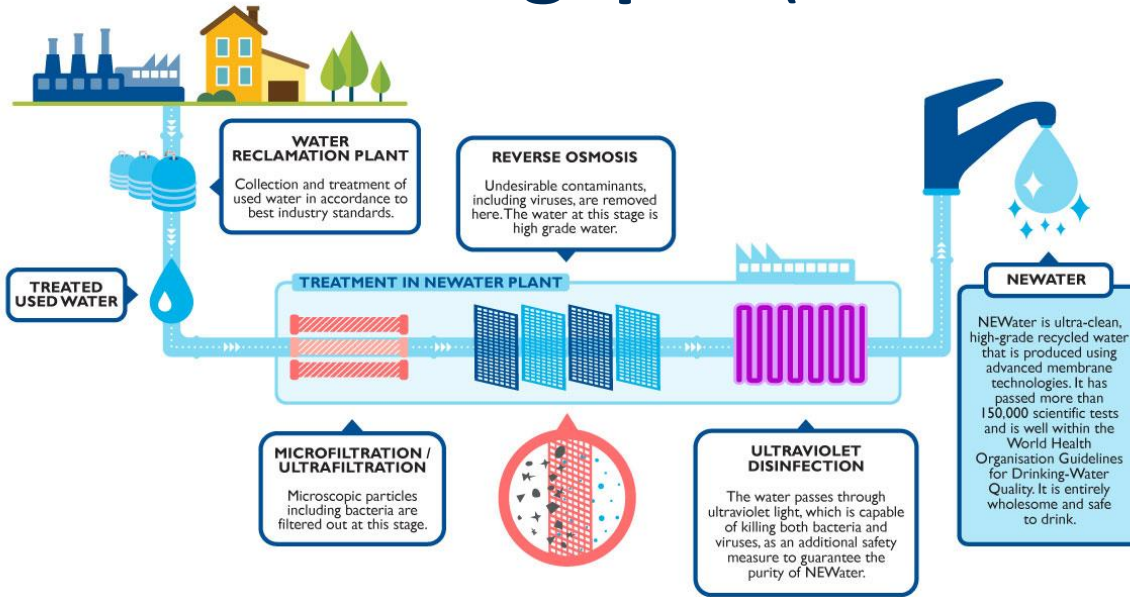
Namibia (Windhoek, desde 1968, 35% del agua potable de la ciudad)

Toreele (**Bélgica**)



Ejemplos de uso de agua regenerada para potabilización

Singapur (Newater)



Fuente: Página web PUB Singapore's National Water Agency

La Newater se usa sobre todo para uso industrial y acondicionamiento de aire. Hay una red de distribución específica para ella. Durante los periodos secos se envía el agua a los embalses para mezclarse con el agua bruta, pudiendo llegar a una mezcla del 5%. También se embotella.

Medidas para reducir/optimizar el consumo

Incremento de la eficiencia energética



Equipos de máxima eficiencia

Recuperadores de energía

Variadores de frecuencia

Tipos de pretratamiento

Configuración trenes (híbrido/Split, centros de presión, tamaño, membranas)

Impulsiones

Posibles turbinados



Mejora en las membranas y otros componentes

Uso de renovables, reducción de la dependencia energética



Implementación de renovables

OPCIONES

- **Dos opciones;** en el aporte de energía o en el proceso
- **En procesos térmicos:** calentamiento del agua mediante energía térmica solar o geotécnica, etc.
- **En procesos de desalación por membranas:** utilización de energía eléctrica captada mediante eólica, fotovoltaica, etc.

DIFICULTADES

- **Capacidad de producción.** Las necesidades de energía de las desaladoras son muy elevadas
- **Continuidad / Almacenamiento**
- **Necesidades** (espacio, condiciones favorables, etc.)
- El mejor **lugar** para instalar una desaladora no tiene porqué coincidir con el mejor lugar para la producción de energía renovable

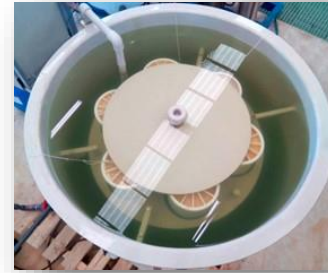


Tendencias en investigación



- ✓ **Eficiencia energética, reducción de la huella de carbono y huella hídrica**
- ✓ **Recuperación de subproductos** (biofactorías en depuración, brine mining en desalación, reciclaje de membranas)
- ✓ **Valorización energética** (biogás) y producción de energía (gradientes salinos, pilas bacterianas, etc.)
- ✓ **Mejora de la calidad del agua**
- ✓ **Digitalización**

Ejemplos de proyectos de Innovación



Producción de energía azul aprovechando el gradiente salino de la salmuera con RED

Reutilización de membranas usadas de ósmosis Inversa (transformación en UF/MF)

MISIONES SOS-AGUA-XXI



Desarrollo de la agricultura del Siglo XXI.

6 actividades con 35 subtarefas que incluyen:

- a) **Digitalización** (modelos predictivos, drones aéreos y submarinos)
- b) **Calidad del agua** y usos de los recursos no convencionales para el riego agrícola (contaminantes emergentes, Boro en aguas desaladas, hidrógeno verde, etc.)
- c) **Recuperación de nutrientes y compuestos de interés** de distintos tipos de aguas (drenajes agrícolas, salmueras de desaladoras, aguas residuales, etc.)
- d) **Estudios económicos y ambientales integrados**



Gracias por su atención
Domingo Zarzo
(dzarzo@sacyr.com)

sacyr agua
CONCESIONES