

ANEXOS



CRITERIOS CALIDAD REUTILIZACION AGUAS

Real Decreto 1620/2007 (BOE, 2007)

RÉGIMEN JURÍDICO DE LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS DEPURADAS

Usos admitidos para las aguas regeneradas

- Riego de cultivos con sistema de aplicación del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles para alimentación humana en fresco.
- Riego de productos para consumo humano con sistema de aplicación de agua que no evita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles, pero el consumo no es en fresco sino con un tratamiento industrial posterior.
- Riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne.
- Acuicultura
- Riego localizado de cultivos leñosos que impida el contacto del agua regenerada con los frutos consumidos en la alimentación humana.
- Riego de cultivos de flores ornamentales, viveros, invernaderos sin contacto directo del agua regenerada con las producciones.
- Riego de cultivos industriales no alimentarios, viveros, forrajes ensilados, cereales y semillas oleaginosas.

Se prohíbe la reutilización de aguas para los siguientes usos:

- Uso para el consumo humano, salvo situaciones de declaración de catástrofe en las que la autoridad sanitaria especificará los niveles de calidad exigidos a dichas aguas y los usos.
- Usos propios de la industria alimentaria, salvo lo dispuesto en el Anexo [I.A.3.calidad 3.1c] para el uso de aguas de proceso y limpieza en la industria alimentaria.
- Uso en instalaciones hospitalarias y otros usos similares.
- Cultivo de moluscos filtradores en acuicultura.
- Uso recreativo como agua de baño.
- Cualquier otro uso que la autoridad sanitaria o ambiental considere un riesgo para la salud de las personas o un perjuicio para el medio ambiente, cualquiera que sea el momento en el que se aprecie dicho riesgo o perjuicio.

ANEXO I.A: CRITERIOS DE CALIDAD PARA LA REUTILIZACI3N DE LAS AGUAS SEG3N SUS USOS

A) CALIDAD REQUERIDA

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR M3XIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES ¹	ESCHERICHIA COLI	S3LIDOS EN SUSPENSI3N	TURBIDEZ	OTROS
1.- USOS URBANOS					
CALIDAD 1.1 RESIDENCIALES: a) Riego de jardines privados. b) Descarga de aparatos sanitarios. c) Sistemas de calefacci3n y refrigeraci3n de aire. d) Otros usos dom3sticos.	1 huevo/10 L	0 (UFC ² /100 mL)	10 mg/L	2 UNT ³	OTROS CONTAMINANTES ⁴ contenidos en la autorizaci3n de vertido aguas residuales: se deber3 limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas ⁵ deber3 asegurarse el respeto de las NCAs. ⁶ <i>Legionella spp.</i> 1000 UFC/L (si existe riesgo de aerosolizaci3n)
CALIDAD 1.2 SERVICIOS URBANOS: a) Riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares). b) Baldeo de calles. c) Sistemas contra incendios. d) Lavado industrial de vehculos. e) Fuentes y l3minas ornamentales.	1 huevo/10 L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorizaci3n de vertido aguas residuales: se deber3 limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deber3 asegurarse el respeto de las NCAs. <i>Legionella spp.:</i> 1000 UFC/L (si existe riesgo de aerosolizaci3n)

¹ Considerar en todos los grupos de calidad los g3neros: Ancylostoma, Trichuris, Ascaris;

² Unidades Formadoras de Colonias

³ Unidades Nefelom3tricas de Turbiedad

⁴ ver el Anexo II del RD 849/1986, de 11 de abril

⁵ ver Anexo IV (****) del RD 849/1986, de 11 de abril

⁶ Norma de calidad ambiental ver el artculo 245.5.a del RD 849/1986, de 11 de abril

⁵ ANEXO I.11 DE MAYO 2006.DOC

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR M3XIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	S3LIDOS EN SUSPENSI3N	TURBIDEZ	OTROS
2.- USOS AGRICOLAS					
CALIDAD 2.1 a) Riego de cultivos con sistema de aplicaci3n del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles para alimentaci3n humana en fresco.	1 huevo/10 L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorizaci3n de vertido aguas residuales: se deber3 limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deber3 asegurarse el respeto de las NCAs. <i>Legionella spp.:</i> 1000 UFC/L: (si existe riesgo de aerosolizaci3n)
CALIDAD 2.2 a) Riego de productos para consumo humano con sistema de aplicaci3n de agua que no evita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles, pero el consumo no es en fresco sino con un tratamiento industrial posterior. b) Riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne. c) Acuicultura.	10 huevo/10 L	1000 UFC/100 mL	35 mg/L	No se fija l3mite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorizaci3n de vertido aguas residuales: se deber3 limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deber3 asegurarse el respeto de las NCAs. <i>Taenia saginata</i> y <i>Taenia Solium</i> : 1 huevo/L (si se riegan pastos para consumo de animales productores de carne)
CALIDAD 2.3 a) Riesgo localizado de cultivos le3osos que impida el contacto del agua regenerada con los frutos consumidos en la alimentaci3n humana. b) Riego de cultivos de flores ornamentales, viveros, invernaderos sin contacto directo del agua regenerada con las producciones. c) Riego de cultivos industriales, viveros, forrajes ensilados, cereales y semillas oleaginosas.	10 huevo/10 L	10000 UFC/100 mL	35 mg/L	No se fija l3mite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorizaci3n de vertido aguas residuales: se deber3 limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deber3 asegurarse el respeto de las NCAs.

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
3.- USOS INDUSTRIALES					
CALIDAD 3.1 a) Aguas de proceso, limpieza y refrigeración industrial, excepto en la industria alimentaria. b) Otros usos industriales.	No se fija límite	10000 UFC/100 mL	35 mg/L	15 UNT	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs <i>Legionella spp.</i> : 100 UFC/L

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
4.- USOS RECREATIVOS					
CALIDAD 4.1 a) Riego de campos de golf	1 huevo/10 L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. Si el riego se aplica directamente a la zona del suelo (goteo, microaspersión) se fijan los criterios del grupo de Calidad 2.3
CALIDAD 4.2 a) Estanques, caudales circulantes de uso recreativo accesibles al público (excepto baño)	1 huevo/10 L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. <i>Legionella spp.</i> : 1000 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización) P_T^1 : 2 mg P/L (en agua estancadas)
CALIDAD 4.3 a) Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales, en los que está impedido el acceso del público al agua	No se fija límite	10000 UFC/100 mL	35 mg/L	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. P_T : 2 mg P/L (en agua estancada)

¹ Fósforo total, suma del fósforo inorgánico y orgánico presente en la muestra

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
5.- USOS AMBIENTALES					
CALIDAD 5.1 a) Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno	No se fija límite	1000 UFC/100 mL	35 mg/L	No se fija límite	N _T ¹ : 10 mg N/L NO ₃ : 25 mg NO ₃ /L
CALIDAD 5.2 a) Recarga de acuíferos por inyección directa	1 huevo/10 L	0 UFC/100 mL	10 mg/L	2 UNT	Art. 257 a 259 del RD 849/1986
CALIDAD 5.3 a) Riego de bosques, zonas verdes y de otro tipo no accesibles al público. b) Silvicultura.	No se fija límite	No se fija límite	35 mg/L	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs.
CALIDAD 5.4 a) Otros usos ambientales (mantenimiento de humedales, caudales mínimos y similares)	Calidad mínima requerida se estudiará caso por caso				

¹ Nitrógeno total, suma del nitrógeno inorgánico y orgánico presente en la muestra



GUIA OPERACIÓN PROCESOS DE MEMBRANAS

NORMALIZACIÓN DE DATOS

La forma más adecuada para operar con seguridad en los sistemas de membranas es mediante la adquisición, normalización y evaluación de datos de la operación del sistema.

El siguiente procedimiento nos ayudó a detectar los cambios que ocurría en el agua de alimentación, las debilidades del diseño y operación; es un método preventivo que nos aleja de daños irreversibles, la sencillez y practicidad de observar estas acciones recomendadas por Don José Manrique en el manejo del sistema permitieron tomas de decisiones eficaces y oportunas.

1. Verificación del funcionamiento de los instrumentos, pruebas regulares de los caudales,
2. Se establece una rutina diaria de recolección y registro de datos [por sección y por sistema],
3. La toma y registro de datos se realiza con la puesta en marcha, inmediatamente después que se estabilice el sistema a primera hora de arranque. Este registro es fundamental ya que establece las condiciones bases que se usan como norma ante cualquier cambio.
4. En el caso de lavados ácidos los registros básicos se establecen a las 24 horas operativas. [cuando la planta retorna a modo estabilización],
5. Toma de datos constantes en períodos críticos; antes y después de la limpieza de membranas, antes de una parada o almacenaje por un tiempo apreciable de las membranas,
6. Los datos mínimos que se deben tomar: flujo, conductividad, temperatura, presión y pH en la alimentación, permeado y concentrado.
7. Elaboración de las gráficas: Rechazo, Caudal de permeado, Presión diferencial [en función horas o días operativos]; Es básico operar a **productividad constante** evitando paradas y arranques continuos,
8. Para observar el comportamiento de la membrana en un período de tiempo es necesario normalizar los datos tomando en cuenta el caudal del producto, y las variaciones que sufren la temperatura, presión y conductividad del agua de alimentación; son parámetros determinantes.
9. Se aplican los factores correctivos necesarios de presión y temperatura. Las gráficas de datos normalizados permiten una evaluación correcta del funcionamiento.

Es fundamental que la información sea encauzada a mantener un nivel operativo estable y eficiente, en el cuadro siguiente se resume el alcance de este procedimiento:

INTERPRETACIÓN DE DATOS NORMALIZADOS

ANÁLISIS	CONCLUSIÓN
Caudal de permeado constante sin cambio significativos	Óptimo funcionamiento
Caudal de permeado normalizado Se reduce lentamente	<u>Presencia de ensuciamiento en membranas</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Si baja el flujo un 10% se debe proceder a la limpieza de membranas.
Caudal permeado normalizado desciende bruscamente	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificar procedimiento operativo ▪ Corrección del pretratamiento ▪ Limpieza de membranas
Caudal normalizado producto Ascenso lento	<u>Consultar gráfica rechazo</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Si el rechazo desciende lentamente: Hay la posibilidad de daños definitivos en las membranas
Presión diferencial en ascenso	<u>Consultar gráfica del caudal del producto</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Disminución flujo constante presencia incrustaciones ▪ Caudal producto constante : verificar los caudales alimentación y concentrado y proceder a calibración de válvulas y medidores

Para normalizar los flujos de permeado, paso de sales y factores de corrección, se recurrió a la guía ASTM D 4516 para Osmosis Inversa, en el caso de la Ultrafiltración el flujo de permeado y factores de corrección guía ASTM 5090.

En la actualidad los fabricantes de membranas suministran junto a sus productos los programas informáticos adecuados que nos entregan información concreta y al instante, este no fue nuestro propósito debido a la singularidad del sistema que trabajó con unidades reutilizadas.

GUIA DE CORRECTA OPERACIÓN EN SISTEMAS CON MEMBRANAS

PRODUCCION DE CAUDAL Y CALIDAD ÓPTIMA DE PERMEADO

1. PRETRATAMIENTO : Dosificación óptima de reactivos
2. FLUJO Y CONVERSIÓN : Condiciones constantes
3. CONTROL DE DATOS
4. ANALISIS DE OPERACIÓN

Normalización datos

Detección de los cambios en la operación

Correctivos operativos y limpieza membranas

El objetivo de una operación eficiente es detectar, analizar y corregir cambios en el funcionamiento de la planta con antelación o sea trabajar siempre en modo preventivo.

ANALISIS DE DATOS DE OPERACIÓN

CAMBIO EN LA PRODUCTIVIDAD Y/O VARIACIÓN DE LA PRESIÓN

1. TEMPERATURA
2. CONDUCTIVIDAD DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN [Presión Osmótica]
3. VARIACION DE LA PRESIÓN DIFERENCIAL
 - Ensuciamiento
 - Incrustación
 - Variación en función de la recuperación
4. PRODUCTIVIDAD EN CADA TUBO
5. INSPECCION Y REALIZAR ACCIONES
 - [Drenaje y pesada de la membrana 4” >> peso inicial (4.54 Kg), presencia de incrustaciones]
6. EVALUAR ATAQUE A LAS MEMBRANAS
 - Químico, Membranas TFC ataque con cloro
 - Membranas Acetato [hidrólisis por pH]
 - Análisis datos operativos
 - Síntoma : Incremento en conductividad de producto

CAUSAS

1. Variación de la conductividad del agua alimentación
2. Recuperación [variación conductividad salmuera] – calibración rotámetros
3. Control conductividad elemento a elemento
4. Medición conductividades según disposición
5. Control dureza en el Rechazo [presencia indica problema mecánico]
6. Variación de temperatura/presión operación [es necesario variar n° membranas]
7. Control pH operación [rango de rechazo óptimo]
8. Descenso de la presión normalizada [ataque a la membrana]

PROGRAMA COSTOS SISTEMAS MEMBRANAS

PROGRAMA DE SIMULACION DE COSTOS EN SISTEMAS DE MEMBRANAS

Conjuntamente con el diseño y estudio se debe realizar el estudio y alcance económico en los procesos de membranas, considerando la complejidad del sistema, calidad del agua de alimentación, factores de conversión, requerimientos energéticos y gastos de inversión de forma pormenorizada que nos acerquen al valor real considerando apartados característicos como costes de capital y costes anuales. El estudio económico no puede omitir los costes operativos y de mantenimiento, podemos observar en este sencillo programa los conceptos y formulaciones que se han realizado y que nos permiten aproximarnos en amplio rango a la valoración de estos sistemas.

Costes de Capital

Costes provocados por las inversiones y el interés que origina durante el tiempo de ejecución. Evaluamos los costes directos, costes indirectos y los costes de operación y mantenimiento.

Los costes en plantas convencionales de Osmosis Inversa dependen de factores propios de esta tecnología, la capacidad de la planta y de la calidad de agua a tratar. En agua de mar se trabaja con membranas de alto rechazo cuyo coste varía significativamente en relación con agua salobre, sistemas de presión, sus consumos energéticos, y el concepto de conversión es determinante, en agua salobre hablamos de conversión de hasta 82,5 %, en agua de mar no pasamos del 50 % , y evaluamos la cantidad y calidad de agua obtenida.

La cantidad de sales totales disueltas presentes, es otro factor clave, el costo de tratar aguas con 32.000 ppm a tratar agua de mar con 38.000 ppm, ocasiona el aumento de los costes energéticos y los costes de operación referente a los aditivos químicos y obviamente a unas membranas con más capacidad de rechazo.

Los factores específicos que afectan los costos de construcción en forma general incluyen:

Costes Directos

- Obra civil
- Calidad agua y grado de pretratamiento
- Capacidad de la planta
- Concentración de sólidos totales disueltos (TDS)
- Mezcla del agua aporte con permeado
- Componentes de la planta incluidos en el coste
- Disposición concentrado

- Tipo de toma de agua entrada
- Requerimientos de postratamiento
- Requerimientos generación potencia
- Almacenamiento agua producto

Toma y Pretratamiento

Este apartado se refiere a la toma de agua de mar, dependiendo si es pozo playero o un emisario submarino de captación y la conducción de la toma hasta el pretratamiento. Dentro de éste constarían tanques, depósitos de mezcla de productos químicos, filtros, bombas dosificadoras, agitadores, circuito de limpieza y elementos de control y medidas.

Coste de las Membranas

Es uno de los apartados principales junto con los tubos de alta presión, la vida útil de las membranas se sitúan entre 5 y 7 años, existen plantas con óptima operación cuyas membranas han sobrepasado los 10 años de trabajo.

Su capacidad de rechazo y sus prestaciones son fundamentales, a la vez la adaptabilidad a situaciones agresivas, diferentes límites de presiones de trabajo establecidos por cada fabricante y el compaginar con el correcto antincrustante que no permita el ensuciamiento que ocasiona un aumento del consumo energético.

$$N^{\circ} \text{ membranas} \times \text{costo (euros)}$$

$$N^{\circ} \text{ tubos de presión} \times \text{costo (euros)}$$

Costes de los equipos de bombeo

Representa las inversiones en bombas de alta presión, bombas de recirculación y bombas de producto, junto a los equipos de control y las conducciones, el principal factor de este apartado es la bomba de alta presión que es función del caudal y de la presión de trabajo, la inversión tiene en cuenta la potencia y el tamaño. Una bomba pistón presenta mejor respuesta a las fluctuaciones de volumen en que la planta trabaja.

$$\frac{r (\text{capacidad} \times \text{presión m. c. a})}{75(\text{eficiencia})}$$

$$\text{Costo (potencia/100)}^{\text{eficiencia}}$$

Coste de la Obra Civil e Instalaciones

Se refiere a las naves donde se ubicarán las unidades de la planta: pretratamiento, bombeo de alta {bancadas de las bombas}, racks de tubos de presión, depósitos de almacenamiento, conducciones {incluye las del rechazo}, oficinas y laboratorios, acondicionamiento del terreno.

En el apartado instalaciones se consideran la energía eléctrica de alumbrado, sistemas y paneles de control y alarmas. Señalamos a modo de ejemplo algunas de las formulaciones que constan en el programa:

$$\text{Construcción} = (21 \text{ m}^2 \times n^{\circ} \text{ racks} + 50 \text{ m}^2 \text{ area}) \times \text{costo/m}^2$$

$$\text{Alimentación químicos} = \text{Costo storage} + \{\text{Costo racks} \times n^{\circ} \times \text{puntos aplicación}\}$$

$$\text{Filtros cartucho} = \text{factor} \times \text{racks} \times n^{\circ} (\text{m}^3/\text{segundo})^{0.8}$$

$$\text{Area trabajo} = \text{costo} \times \text{capacidad (producto + mezcla)}$$

$$\text{Instalación eléctrica} = \text{costo} [\text{capacidad (m}^3/\text{día)}]^{0.65}$$

$$\text{Instrumentación y control} = \text{costo} + (\text{costo rack} \times n^{\circ})$$

$$\text{Generador auxiliar} = \text{Costo construcción} \times \text{MW}^{0.85} + \text{Costo potencia bombeo}$$

En este apartado económico es necesario agregar el de la disposición de la salmuera al valor de costos directos, incluyendo su tratamiento y traslado (tubería de descarga).

$$\text{Tratamiento salmuera} = \text{costo} \times (\text{m}^3 \text{ concentrado/día})$$

PROGRAMA DE COSTOS EN PLANTAS DE OSMOSIS INVERSA				
ANALISIS DE COSTOS				
DATOS DE PLANTA				
FLUJO PRODUCTO (m³/d)	5000	Ref.membrana: 8" (euros) ; 4" (euros)		
SALINIDAD (mg/L TDS)	34000	Ref.Tubos presión : 8" (euros) ; 4" () euros		
CONVERSIÓN (%)	46	Ref. Booster bomba : euros CV caudal m³/d		
DISPOSICIÓN **	1	Ref. Booster bomba : euros CV caudal m³/día		
MEMBRANAS	432	Disposición : 1 ; Conversión : %		
TUBOS PRESIÓN	72	Arreglo : 2+1 ; Conversión : %		
PRESIÓN OSMÓTICA (bar)	26.49	Arreglo : 4+2+1 ; conversión : %		
PRESIÓN OPERACIÓN (bar)	58.83			
SISTEMA OPERACIÓN FLUJO	24			
RACKS	1			
MEMBRANAS POR TUBO	6			
1.- COSTOS DIRECTOS CONSTRUCCIÓN				
Relación Costos	Unidad	Valor	Ecuación	Costo
Caudal alimentación				10870
Area membranas	m²	33.9		
Numero elementos				256
Membrana modulos	diámetro 8"	1300	Nº Membranas x Costo (euros)	561600.00
	diámetro 4"			0.00
Tubos de presión	diámetro 8"	2000	Nº Tubos presión x Costo (euros)	144000.00
	diámetro 4"			0.00
Building	m² construcción	50	(21m² x nº Racks + 50 m² espacio)x costo/m²	3550.00
Instalación Eléctrica	Planta+Edificación	80	costo (capacidad m³/d) ^{0.65}	20296.47
Instrumentación y control	costo	6476	costo+(costo rack x nº)	11657.00
Bombeo alta presión	Bomba	9024	r (capacidad x presión m.c.a.)	698.37
	nº	1	75 ^(eficiencia)	
	Eficiencia	65	Cost (power/100) ^{efficiency}	31919.51
Degasificadores	factor	1.5006	factor x Capacidad + 3766	0.00
	nº	0		
Control olores	factor	320.9	factor x (capacidad) ^{0.6}	0.00
	nº	0		
Procesos tubería	factor	15.852	factor x flujo alimento	172304.35
	nº	1		
Restored tubería	factor	50	factor x (flujo alimento) ^{0.75}	53226.65
	nº	1		
Sistema dosificación químicos	Almacenamiento (L)	500	Costo Storage+ (Costo racks x nº x puntos inyección)	20826.09
	costo rack/m³	1.87		
	puntos inyección	1		
Filtros cartuchos	factor	43311	factor x racks x nº (m³/sec) ^{0.8}	8248.16
Equipo limpieza membranas	costo			0.00
Salmuera tratamiento	costo	14.4	costo x (m³ concentrado/d)	84521.74
Generator auxiliar	costo building		Costo building x MW ^{0.85} + costo potencia bomba	0.00
	costo bombeo			
Area trabajo	costo	14.40	costo x capacidad (producto + blend)	72000.00
	blend (m³/day)			
Contrato ingeniería-training	costo	10000.00		10000.00
Costo Directo				1194149.96 euros

Costos Indirectos

Dependen del tiempo de ejecución y del tipo de interés que existe en el mercado.

En el programa de costos las dos formulaciones utilizadas son:

$$\text{Movilización, seguros y fianzas} = \text{factor} \times \text{costo total directo}$$

$$\text{Contingencias} = \text{factor} \times \text{costo total directo}$$

2.- COSTOS INDIRECTOS CONSTRUCCION				
Mobilización, insurance and bonds	factor	0.05	factor * costo total directo	59707.50
Contingencias	factor	0.04	factor* cost directo total	47766.00
Costos indirectos				107473.50 euros

Costes de Operación y Mantenimiento

Se entienden como los costes anuales de la planta y representan la suma de costes de operación y mantenimiento y el de amortización de capital.

En la inversión constan los gastos que se generan el proyecto, su amortización debe hacerse para toda la vida útil de la instalación. En las plantas con procesos de membranas la obra civil es un parámetro válido en relación a los específicamente técnicos, de modo general se establecen porcentajes tipo para la inversión total y duración aproximada:

Parámetro	Porcentaje	Durabilidad
Obra civil	15 – 25 %	20 años
Equipos mecánicos	30 – 40 %	12 años
Membranas	12 – 18 %	8 años
Equipos eléctricos	10 – 14 %	15 años
Instrumentación y control	2 – 4 %	12 años

Para agua salobre estos porcentajes varían en escala menor.

Inversión Total (Membranas)

Las membranas constituyen un coste significativo frente al total de la planta y al tener una vida limitada se introduce la amortización de las membranas como un costo de operación. Se debe acotar que durante la vida del primer juego de membranas se amortizan los tubos de alta presión, que son reutilizables y que representan un 20 % del coste total de

las membranas. Los fabricantes establecen una garantía para las membranas entre el 10 – 12 % anual para un período de 5 años, es decir una reposición entre el 50 – 60 % en dicho período.

El factor que se determina a la hora de evaluar la amortización de membranas es el tiempo de funcionamiento a rendimiento óptimo. Es significativa la variación de la tasa anual al pasar de 5 años a 4 ó 3. La ecuación que determina la tasa de valoración de las membranas involucra la inversión, la vida de las membranas, el caudal y los días de operación:

$$\frac{\textit{inversión}}{\textit{flujo} \times \textit{vida membranas} \times \textit{días operación}}$$

Amortización Anual

En los costes anuales y como concepto de amortización de capital se define la inversión realizada en pretratamiento, equipos de bombeo, obra civil, instalaciones exceptuando la de las membranas. Se establece el período de amortización de 15 años y el tipo de interés (%). Para calcular la tasa anual de amortización usamos las siguientes ecuaciones:

$$\textit{Costo planta} - \textit{costo membranas}$$

$$\frac{\textit{Interés} \times \textit{costo}}{1 - (1 + I)^{-T}}$$

$$\frac{\textit{euros/año}}{\textit{flujo} \times \textit{días operación}}$$

Productos Químicos

Todas la plantas de tratamiento consumen cantidades apreciables de reactivos químicos, tanto en el pretratamiento como en el postratamiento, los productos y dosificaciones son variables en función de las características del agua y de las membranas que se utilicen.

Los productos más utilizados son:

- Desinfectantes { hipoclorito sódico o cálcico, o biocidas orgánicos }
- Floculantes { cloruro férrico, polielectrolitos }
- reguladores de pH { ácidos, básicos }
- antincrustantes { hexametáfosfatos, antincrustantes orgánicos, para controlar los precipitados }

$$\frac{\text{Consumo} \times \text{costo}}{\text{Flujo}}$$

De forma general a modo de ejemplo, en agua de mar los consumos orientativos que se han usado para el programa de costos están en el cuadro adjunto y se computa este ítem como un 1% del coste total:

Reactivo Utilizado	Dosis (g/m ³) de agua producida
Hipoclorito de sodio	20 – 30
Ácido Sulfúrico	35 – 45
Coagulante	2 – 10
Polielectrolito	0,1 – 0,5
Reductor	4 – 10
Antiincrustante	2- 5

Consumo Energía

Este concepto evalúa el gasto producido en la planta es el que genera mayores costes de agua desalinizada. La Osmosis Inversa ha supuesto una disminución considerable de los gastos energéticos en comparación con otras tecnologías, debido a su gran avance tecnológico y al desarrollo de nuevas membranas con mayor rendimiento. En agua salobre entre 1000 y 5000 ppm sus consumos varían entre 0,6 y 2 kWh/m³ dependiendo la conversión utilizada y el tipo de membranas y el agua a tratar. En agua de mar este concepto varía con consumos sobre los 6 kWh/m³ con membranas de alto rechazo, en plantas de gran capacidad se introduce el factor de recuperación de energía disminuyendo el consumo hasta 4 kWh/m³.

Se adopta el consumo específico por metro cúbico de acuerdo a su capacidad diaria, el factor de disponibilidad (días por año) y el coste por kWh, se obtiene el gasto energético.

$$\text{Consumo} \times \text{costo}$$

Los costos son una función directa de la energía específica y aumenta con la presión para una conversión dada y disminuye conforme aumenta la conversión para una presión de trabajo fija.

Mantenimiento

Este concepto incluye los gastos ocasionados al realizar un mantenimiento periódico debido al sofisticado grado tecnológico de los equipos propios, de los automatismos y elementos de regulación y control, de bombas y motores de alto rendimiento. Se considera en este apartado un 5 % para agua de mar.

$$\frac{\text{Costo planta} \times (\% \text{ anual})}{\text{Flujo} \times \text{días operación}}$$

3.- COSTOS OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO						
a) Vida de las membrana (años)						7
b) Amortización de la planta (años)						15
c) Mantenimiento (% valor anual)						5
d) Días de operación por año						167
e) Costo planta (euro)						1301623
f) Interes (%)						11
g) Costo Energía (euros/kwh)						0.048
A) INVERSIÓN Membranas						0.0961
Costo de reemplazo de membranas						
Inversión						
caudal x vida de membranas x días operación						
B) AMORTIZACIÓN ANUAL						
Valor planta - Membranas						740023.46
I x Costo						0
$1 - (1 + I)^{-1}$						
euros/year						
caudal x días operación						0.0000
C) PRODUCTOS QUÍMICOS						
	consumo	mg/L	(euros/kg)			
Acido sulfúrico		20	0.11	0.0002	Consumo x costo	
Antincrustante		2	3.3	0.0006		caudal
Desinfectante		0.6	0.84	0.0000		
Bisulfito		0.3	0.35	0.0000		
Hidróxido de sodio		25	0.48	0.0024		0.0033
D) CONSUMO ENERGETICO						
Consumo	Potencia kW	1175.00		5.64	Consumo x Costo	0.2707
E) MANTENIMIENTO						
Costo planta x (% anual)						0.0779
caudal x días operación						

Coste del Metro Cúbico Producido

Establecidos los gastos anuales, obtenemos el costo del metro cúbico de agua producto, que relaciona los costos anuales y la cantidad de agua producida. Para predecir la producción anual en base a la capacidad diaria se puede introducir un factor de disponibilidad que representa el tanto por ciento de horas anuales que la planta trabaja en

condiciones óptimas, factores entre 0,9 y 0,95 es bastante aceptable si tomamos en cuenta las paradas anuales obligatorias para limpieza de membranas, revisiones de bombas y motores y demás equipamiento.

COSTO m³ = (MEMBRANA + AMORTIZACIÓN + QUIMICOS + ENERGIA + MANTENIMIENTO)	
Costo m ³	0.45 euros

Economía de Escala

La economía de escala no afecta en gran proporción al coste total de la planta de desalinización debido a sus sistemas modulares que son de gran fiabilidad técnica y económica, el límite de la capacidad del módulo viene impuesto por el tamaño de la bomba. Es aprovechable en casos de mantenimiento y reparación ya que particulariza el daño o la limpieza.

Las variaciones están en los costes pormenorizados conforme aumenta el tamaño de la planta aumenta el coste del bombeo, disminuyendo la toma y pretratamiento, el coste de membranas y obra civil disminuye en menor porcentaje, más por número adquirido o metro cuadrado de construcción.

Factor anual	CF = $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	0.14
<p>** arreglo 1 : 1 banco ; n° membranas/6 = n° tubos presión arreglo 2:1 ; banco 1= n° membranas/3 ; Banco 2 = 2*Banco 1 arreglo 4:2:1 ; banco 1= n° membranas/7 ; Baco 2 = 2*Banco 1; Banco 3 = 4*banco1</p>		
Flujo Operación:	Tipo de agua	sistem operativo caudal (LMH)
	Municipal wastewater (sewage)	13 - 20
	Treated river or canal waters	17 - 24
	Surface waters (laakes/reservoirs)	20 - 27
	Deep wells (low turbidity)	29 - 34
	R.O. Permeate water	34 - 51
	Surface seawater	17 - 24
	Beach well seawater	20 - 27

APORTACIONES DE DIFUSION INVESTIGACION



Analysis and behaviour of chloride solutions in flat reverse osmosis membranes

A. Gómez Gotor, S. Bachir, C. Argudo

SEMAI - ULPGC, Dpto. de Ingeniería de Procesos Campus Universitario de Tafira - "La Casita"

E-35017 - Las Palmas de Gran Canaria - Spain Tel.: +34 928 454583 Fax: +34 928 351584

E-mail: A.Gómez Gotor, agg@cicei.ulpgc.es; S.Bachir, ismail@cicei.ulpgc.es; C. Argudo, celso@cicei.ulpgc.es

Received 25 June 1998

Abstract

In the field of reverse osmosis (RO) there are several theories from which mathematical models have been developed, allowing for the simulation of processes and the prediction of results. This study used the model developed by Slater and Col, based on the solution-diffusion model for the simulation of RO processes. It was developed with an M20 RO Lab Unit made by DOW DANMARK SEPARATION SYSTEMS and uses a pair of flat membranes of HR 98 PP type, also made by DOW DANMARK A/S SEPARATION SYSTEMS. The results obtained are within the expected range for the volume flows and permeate concentrations under study. All the relevant constants in the model were determined, and were found to be in agreement with the expected results. The solute used was potassium chloride (KCl) and the dissolvent was distilled water, with concentrations ranging between 200 and 3000 ppm. Feed flows were in the range of 4.80 y 8.18 L/min, while the working pressure varied between 5 and 20 bar.

Keywords: Reverse osmosis; Flat membranes; Solution-diffusion model; Hydropemeability.

Introduction

The extraordinary increase in the use of membrane processes in the last 50 years has been spurred by the requirements of production in a wide variety of industrial sectors. However, the most significant factor has been the development of new synthetic membrane manufacturing methods which

have caused qualitative changes in the use of these.

The experimental RO plant used for the purposes described in this article uses the membranes described below. The solute used is potassium chloride (KCl) and the solvent is distilled water, with concentrations in the 200 to 3000 ppm range. The feedwater flow ranges between 4.80 and 8.18L/min and the pressures of operation lay between 5 and 20 bar.

Presented at the Conference on Membranes in Drinking and Industrial Water Production, Amsterdam, September 21-24, 1998, International Water Services Association, European Desalination Society and American Water Works Association
0011-9164/98/\$ - See front matter © 1998 Elsevier Science B.V. All rights reserved.
PII S0011-9164(98)00161-1

ARTICULOS TECNICOS

Resumen

En el campo de la ósmosis inversa existen diferentes teorías a partir de las cuales se han desarrollado modelos matemáticos que permiten la simulación de procesos y la predicción de resultados. En este trabajo vamos a utilizar el modelo de Slater y Col. Basado en la teoría de solución - difusión, para simular procesos de ósmosis inversa, para ello se utilizó el equipo de OI LAB - UNIT M 20 de DOW DANMARK SEPARATION SYSTEMS y un par de membranas planas del tipo HR 98 PP de la casa comercial DOW DANMARK A/S SEPARATION SYSTEMS. La disolución utilizada en el estudio de las variables de operación ha sido la de KCl. Para este fin se desarrolló una metodología de trabajo, obteniéndose resultados que están dentro de las tendencias esperadas en cuanto a flujos volumétricos y concentraciones de permeado se determinaron además las constantes del modelo y se verificó el cumplimiento del mismo.

Palabras clave:

Ósmosis inversa, Membrana plana, Planta piloto, Modelo matemático, Cloruro potásico, Validación.

Abstract

Validating a mathematical model for inverse osmosis in an experimental flat membrane plant

The different theories regarding inverse osmosis have given rise to mathematical models that seek to simulate the processes involved and predict their results. This article describes an experiment using the model developed by Slater et al. based on the solution-diffusion theory. A DOW DANMARK SEPARATION SYSTEMS OI LAB - UNIT M 20 was employed together with a pair of type HR 98 PP flat membranes also from DOW DANMARK A/S SEPARATION SYSTEMS. The solution used to study the operational variables was KCl. The findings in regard to volumetric flows and permeate concentrations conformed to the expected trends. The model's constants were also determined and their predictive value verified.

Keywords:

Inverse osmosis, flat membrane, pilot plant, mathematical model, potassium chloride, validation.

Validación de un modelo matemático para ósmosis inversa con una planta piloto de membranas planas

Por: Prof. A. Gómez Gotor, Salama, B. y C. Argudo.
SEMAL - ULPOG. Dpto. de Ingeniería de Procesos.
Campus Universitario de Tafira - "La Cañita"
35.017 - Las Palmas de Gran Canaria. Tel. 428 454 583 - Fax. 428 351 584
E-mail: A.Gómez Gotor, agg@cicci.ulpgc.es; S.Bachir, sbmail@cicci.ulpgc.es;
C. Argudo, celso@cicci.ulpgc.es

1. Introducción

El extraordinario aumento en la utilización con procesos de membranas, en los últimos cincuenta años, ha venido promovido por un aumento en las necesidades de producción en una amplia gama de sectores industriales. Sin embargo el factor más importante es el desarrollo de nuevos métodos de fabricación de membranas sintéticas, he-

cho que ha motivado un cambio cualitativo en el uso de las mismas.

2. Ensayos realizados

La instalación experimental de OI propuesta y que utiliza membranas planas es descrita en este trabajo. El soluto utilizado es cloruro de potasio (KCl) y el disolvente agua destilada, los rangos de concentración están entre 200 y 3.000 ppm,

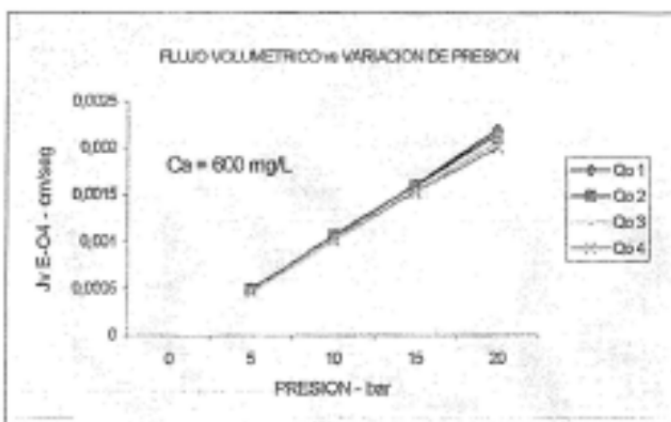


Fig. 1. Comportamiento del flujo de permeado con respecto a la variación de presión.

Membrane processes for the recovery and reuse of wastewater in agriculture

Antonio Gómez Gotor^a, Sebastián Ovidio Pérez Baez^b, Celso Argudo Espinoza^c,
Salama Ismail Bachir^{c*}

^aIndustrial Environment Section, ^bDepartment of Process Engineering, ^cSEMAI,
University of Las Palmas de Gran Canaria, Campus Universitario, Tafira, E-35017 Las Palmas de Gran Canaria, Spain
Tel. +34 (928) 355789; Fax +34 (928) 351584; email: ismail@cicei.ulpgc.es

Received 7 August 2000; accepted 21 August 2000

Abstract

Following laboratory-scale research as part of the LIFE programme, a pilot plant with a capacity of 30 m³/d was built. This plant allowed the optimization of the parameters necessary for the engineering analysis, as well as the extrapolation of results and the development of a treatment plant with a capacity of 500 m³/d. The latter includes all existing tertiary processes up to the latest generation and makes possible their sequential operation and the later integration of all the units, from the outflow onwards, into the Guía-Gáldar wastewater treatment plant in Las Palmas de Gran Canaria. The initial phase consists of treatment using reversible electro dialysis (with a production of 100 m³/d), ultrafiltration (430 m³/d) and reverse osmosis (210 m³/d). Six qualities of water are obtained which can be used for agricultural irrigation of specific crops. The feasibility of controlling both quantity and quality allows satisfying the demand. The project offers technological innovations and efficient solutions which are of special interest in areas where the water demand exceeds availability. It also has practical applications beyond those of a purely demonstration plant. Variations were introduced in order to adapt the system to the nature of the islands (type of outflows and end-use) which individualize the project.

Keywords: Wastewater; Reuse; Recovery; Agriculture; Electro dialysis; Ultrafiltration; Reverse osmosis

1. Description of the plant

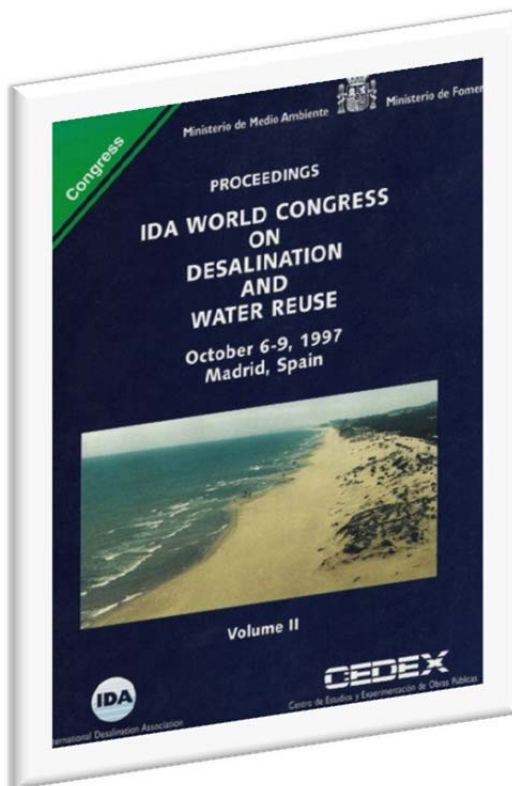
The plant includes a system called Crystal “M”. Its flow feeds electro dialysis reversal (EDR) and ultrafiltration systems. The quality of

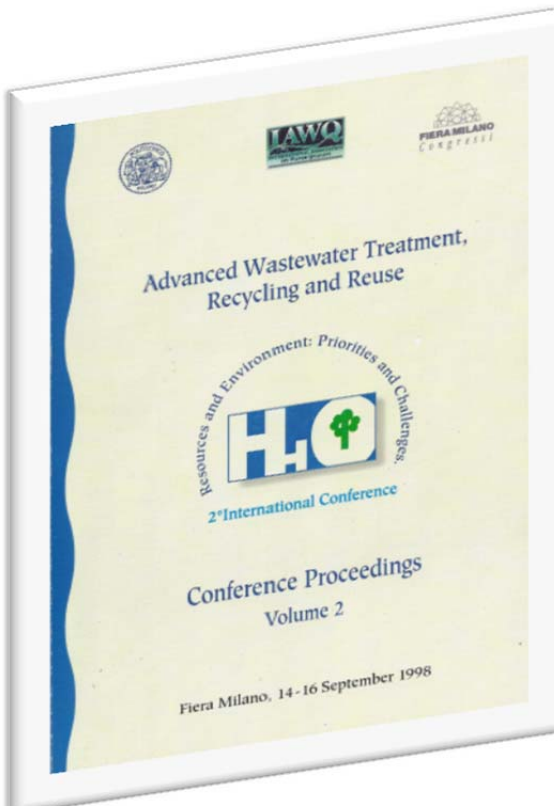
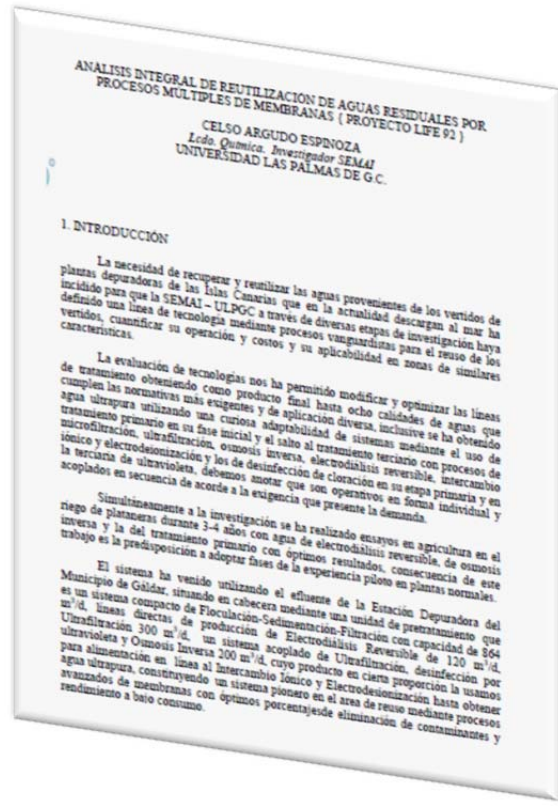
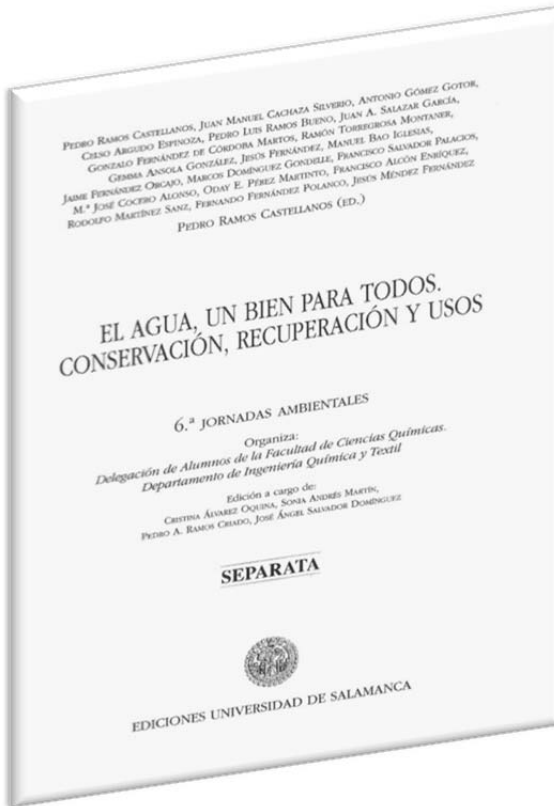
the water supplied by the EDR required the implementation of the Crystal “M” system previous to the flow through the RO unit. A bypass was added for those cases in which the quality of the water is acceptable and as an additional element of flexibility in the overall system.

*Corresponding author.

Presented at the conference on Desalination Strategies in South Mediterranean Countries, Cooperation between Mediterranean Countries of Europe and the Southern Rim of the Mediterranean, sponsored by the European Desalination Society and Ecole Nationale d’Ingenieurs de Tunis, September 11–13, 2000, Jerba, Tunisia.

0011-9164/01/\$– See front matter © 2001 Elsevier Science B.V. All rights reserved

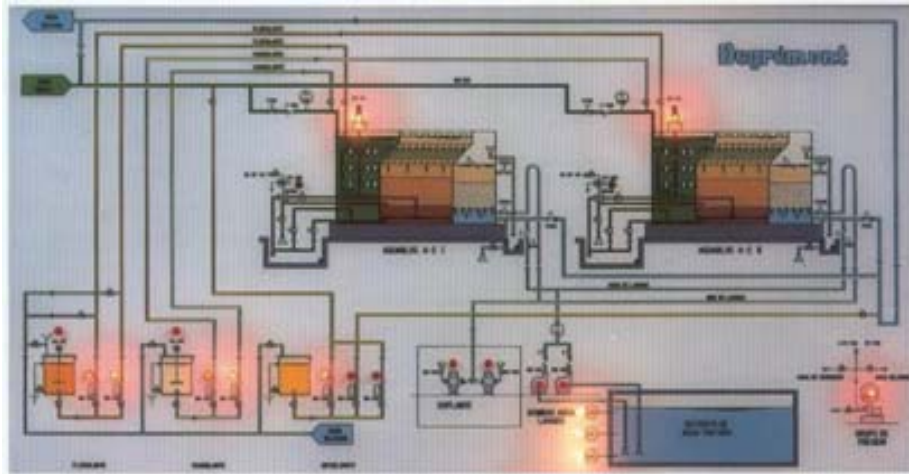






APORTACIONES ILUSTRATIVAS

IMÁGENES ILUSTRATIVAS DEL SISTEMA INTEGRAL



1. Panel electrónico Cristal "M"



2. Aporte EDAR al Sistema



3. Ensamblaje modular



4. Monobloc "Cristal M"



5. Unidad de floculación



6. Sistema de dosificación químicos



7. Decantador tipo lamelar



8. Equipo de Compresión



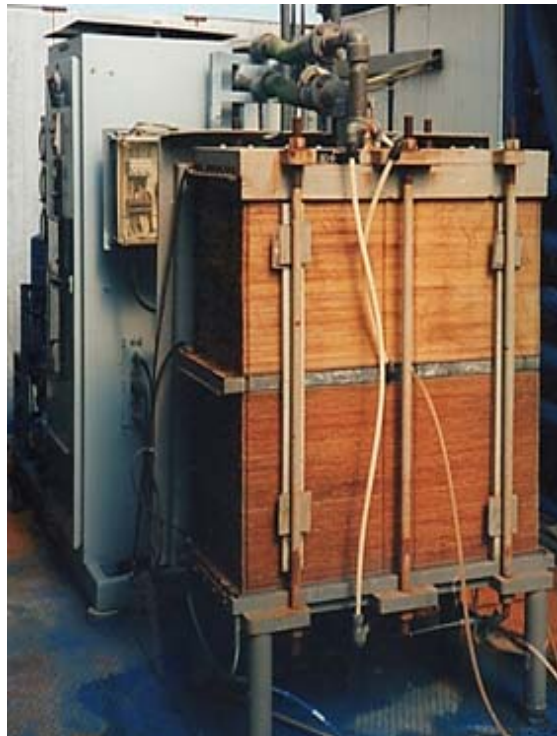
9. Unidad de pretratamiento



10. Microfiltración



11. Filtros multicapa



12. Pila de membranas Planta EDR



13. Planta Reconvertida de Ultrafiltración



14. Bomba de alta presión OI



15. Sistema de Desinfección Ultravioleta



16. Planta Osmosis Inversa, disposición vertical



17. Sistema Intercambio Iónico



18. Sistema de Electrodesionización Continua