

# Reutilización de aguas usando microfiltración continua y electrodiálisis reversible

MANUEL P. DEL PINO (\*); JUAN C. IBRAHIM (\*\*); ENRIQUE ORTEGA DE MIGUEL (\*\*\*); PEDRO CATALINAS MONTERO (\*\*\*)

**RESUMEN** Estudios piloto efectuados en el Centro de Investigación y Desarrollo DERE<sup>A</sup>\* situado en Gran Canaria, han demostrado la viabilidad de regenerar aguas residuales urbanas tratando el efluente de una estación depuradora de aguas residuales (EDAR) con un sistema de microfiltración continua (MFC) seguido de una planta de electrodiálisis reversible (EDR).

Los resultados indican que los sistemas de microfiltración continua (MEMCOR, modelo 6M10C) y electrodiálisis reversible (IONICS, modelo AQUAMITE-V) producen un agua regenerada de gran calidad para el riego agrícola incluyendo los productos hortofrutícolas que se consumen crudo.

El sistema de MFC trató aproximadamente 150 m<sup>3</sup>/día del efluente de la EDAR Intermunicipal del Sureste de Gran Canaria (EDAR del Sureste), un efluente no-clorado, con una recuperación de agua del 85% (85 m<sup>3</sup> de agua producto por cada 100 m<sup>3</sup> de agua de alimentación). En el agua producto del sistema de MFC no se detectaron, la mayoría de las veces, coliformes totales ni fecales ( $\leq 2,2$  colonias / 100 ml), la turbidez se mantuvo por debajo de 1,0 NTU, y los sólidos en suspensión (SS) por debajo de 1,0 mg/L. La planta piloto de EDR trató unos 120 m<sup>3</sup>/día de agua microfiltrada con una recuperación de agua del 86%, y un rechazo de sales del 76%.

Basado en los estudios piloto efectuados, el costo de operación de estas plantas es el siguiente:

- MFC ..... 19 ptas/ m<sup>3</sup> de agua producto
- EDR ..... 36 ptas/ m<sup>3</sup> de agua producto

Los costos de inversión de plantas de MFC y EDR para producir 1000, 2000 y 10.000 m<sup>3</sup>/día se incluyen en este informe.

## WATER REUSE USING CONTINUOUS MICROFILTRATION AND ELECTRODIALYSIS REVERSAL

**ABSTRACT** Pilot studies held at the research and development center DERE<sup>A</sup> placed at Gran Canaria, have proved the viability of regenerating urban waste waters treating the effluent of an urban waste water treatment plant (WWTP) with a continuous microfiltration system followed by a reversible electro dialysis plant.

Results show that continuous microfiltration systems (MEMCOR, 6M10C model) and electro dialysis reversal (IONICS, AQUAMITE-V model) produce a regenerated water of great quality for irrigating excepting products for raw consumption.

The CMF system treated about 150 m<sup>3</sup>/day of the WWTP, "EDAR del Sureste", a non chlorinated effluent, with an 85% water recovery (85 m<sup>3</sup> of product water for each 100 m<sup>3</sup> of feed water). In the product water of the CMF system no total or fecal ( $\leq 2,2$  colonies / 100 ml) coliforms were found at all, turbidity didn't get over 1,0 NTU, and suspended solids (SS) were under 1,0 mg/l. The EDR Pilot plant treated about 120 m<sup>3</sup>/day of microfiltered water with a water recovery of 86% and a salt rejection of 76%.

Based upon the pilot studies made, the operation costs of this plants are:

- CMF ..... 19 ptas / m<sup>3</sup> of product water
- EDR ..... 36 ptas / m<sup>3</sup> of product water

Inversion costs of CMF and EDR plants for producing 1,000, 2,000 and 10,000 m<sup>3</sup>/day are included in this report.

**Palabras clave:** Microfiltración; Electrodiálisis; Efluente; Costes; Turbidez; Reutilización.

## INTRODUCCIÓN

El agua en las Islas Canarias ha sido siempre un recurso escaso que ha afectado seriamente el desarrollo de esta región, principalmente el de las tres islas orientales: Gran Canaria, Fuerteventura y Lanzarote.

Durante los últimos 20-30 años se ha experimentado un fuerte crecimiento de la población y de la economía, lo que ha

aumentado la demanda de agua en todas las islas. Muchos de los acuíferos han sido sobreexplotados y contaminados debido a la intrusión marina y a vertidos urbanos e industriales. En muchas de las islas el agua potable se obtiene principalmente por desalación del agua del mar.

El riego agrícola consume aproximadamente el 60% de la demanda total de agua, por lo que el uso de aguas depuradas para el riego resultaría en un considerable ahorro de agua potable.

Con el fin de estudiar, evaluar y desarrollar sistemas y procesos de tratamiento avanzado para reutilizar aguas depuradas de la EDAR surgió el Centro de Investigación y Desarrollo DERE<sup>A</sup> (DEmostración en REutilización de Aguas).

Este Centro de I + D es fruto de la colaboración de las siguientes entidades:

- La Dirección General de Calidad de Aguas del MOPTMA.

(\*) DERE<sup>A</sup>: DEmostración en REutilización de Aguas.

(\*) CANARAGUA, S.A.

(\*\*) Servicio Hidráulico.

(\*\*\*) CEDEX.

TABLA IV. Parámetros de operación y diseño de la planta de EDR

Caudal de agua de alimentación . . . . .	5,0 m <sup>3</sup> /h
Caudal de agua producto . . . . .	4,2 m <sup>3</sup> /h
Recuperación . . . . .	82-90%
Números de etapas eléctricas . . . . .	2
Números de etapas hidráulicas . . . . .	2
Disposición de los pares de células . . . . .	95/65/95/65
Densidad de la corriente límite . . . . .	4 amp.
Número de membranas . . . . .	640
Superficie de membranas . . . . .	45,7* 101,6 cm
Seis filtros cartucho de 50 cm de longitud, 6 cm de diámetro y 10 µ, con una carga hidráulica en los filtros cartucho, a 5 m <sup>3</sup> / h, de 8,8 m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> · hora.	

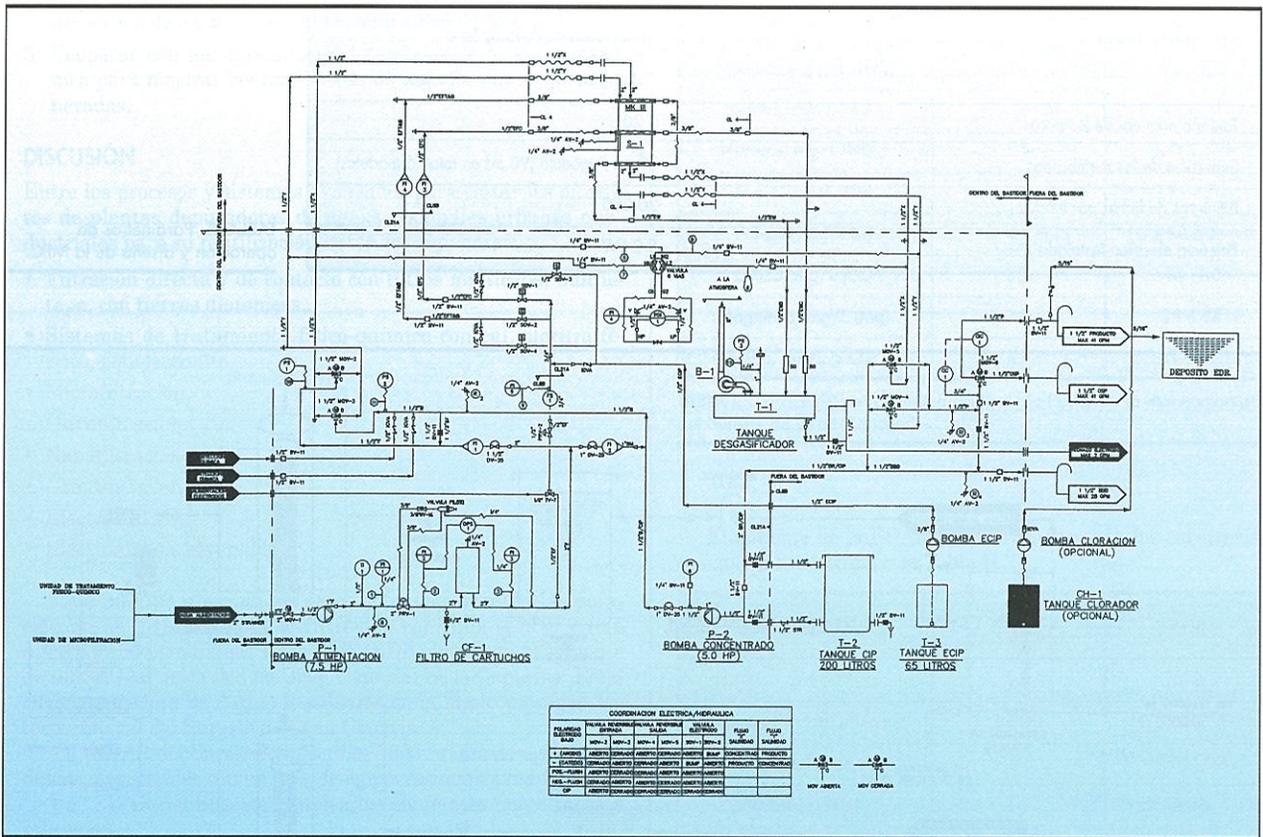


FIGURA 2. Proyecto DERE. Diagrama de flujo. Unidad de electrodiálisis reversible.

nido de sólidos disueltos (SDT) de 500 mg/L, o menos si fuera necesario, con una recuperación del 80-90%.

El diseño de la EDR permite operar con altas concentraciones de sílice (SiO<sub>2</sub> > 50 mg/L), turbidez, índices de ensuciamiento (SDI > 5), y cloro residual.

La planta está compuesta por 320 pares de células y cada par de células está formado por:

- Una membrana de transferencia aniónica.
- Un espaciador para el agua desmineralizada.

- Una membrana de transferencia catiónica.
- Un espaciador para la salmuera.

El consumo eléctrico es directamente proporcional a la cantidad de sales transferidas desde el agua de alimentación a la salmuera.

Los parámetros de operación y diseño de la planta AQUAMITE-V de IONICS se presentan en la Tabla IV.

La Figura 2 muestra el diagrama de flujo de la planta de EDR.

### III. OPERACIÓN DE LA UNIDAD DE MICROFILTRACIÓN CONTINUA MEMCOR, MODELO 6M10C

La operación de esta unidad se inició el 22 de Noviembre de 1994. Este informe describe la operación de esta unidad de MFC desde el 22 de noviembre de 1994 hasta el 3 de Diciembre de 1995. La unidad de MFC operó prácticamente 24 horas/ día, 7 días por semana. El agua de alimentación de la unidad fue en todo momento el efluente de EDAR del Sureste sin clarar, y pretratado a través de un microtamiz de 400 micras.

El caudal de agua producto ha oscilado entre 140 y 145 m<sup>3</sup>/día con una recuperación del 82-88%; el consumo de energía ha oscilado entre 0,5 y 0,6 kWh/m<sup>3</sup> de agua producto.

La unidad de MFC operó en el régimen de flujo directo con ciclos de filtración de 10, 15 y 20 minutos seguidos de 2 minutos de retrolavado: 10 minutos filtrando — 2 minutos de retrolavado, 15 minutos filtrando — 2 minutos de retrolavado... Los retrolavados se hacen con aire (a 6 bares de presión) y *agua de alimentación*.

La unidad de MFC operó con una presión de alimentación de 270 kPa ( $\approx$  2.7 bares) y una presión transmembrana (PTM) entre 20 y 120 kPa. Cuando la PTM permanece en 120 kPa o más después de un retrolavado, es necesario efectuar una *limpieza química*. El producto químico usado fué inicialmente MENCLEAN e hidróxido sódico (50%), luego empleamos SPEC-TAK 3/4 suministrado por DIVERSEY. El consumo de SPEC-TAK osciló entre 8 y 17 litros por cada 1.000 m<sup>3</sup> de agua producto. El consumo medio de SPEC-TAK 4/3 fue de 10 litros por 1.000 m<sup>3</sup> de agua producto. También se empleó en la limpieza química un quelato (BRU-STONE) y el consumo de este producto fue de un litro por cada 1.000 m<sup>3</sup> de agua producto.

La limpieza química se efectuó cada 2-3 días de operación, aunque durante los primeros 12 meses de operación osciló 6 horas y 5 días dependiendo de las características del agua de alimentación, principalmente la turbidez y los sólidos en suspensión.

A parte de la limpieza química con SPEC-TAK 4/3 y BRU-STONE, MEMCOR recomienda también una limpieza química con ácido fosfórico (H<sub>3</sub> PO<sub>4</sub>) cada 50-60 días de operación. El consumo de ácido fosfórico fue de 2 Kg al mes.

El *agua producto* de la unidad de MFC prácticamente no contenía sólidos en suspensión (SS < 1,0 mg/ L), turbidez (< 1,0

NTU), coliformes totales y fecales ( $\leq$  2,2 colonias/100 ml), y el silt density index (SDI<sub>15</sub>) estuvo siempre por debajo de 3,0.

Las características de las aguas de alimentación y producto de la unidad de alimentación y producto de la unidad de MFC MEMCOR se muestran en la Tabla V.

### IV. OPERACIÓN DEL SISTEMA DE ELECTRODIÁLISIS REVERSIBLE AQUAMITE-V DE IONICS

Esta planta puede funcionar con un pretratamiento físico-químico (F/Q), o con un pretratamiento con microfiltración o ultrafiltración. Este informe describe el funcionamiento del sistema de EDR AQUAMITE-V con un agua de alimentación previamente tratada en el sistema de MFC MEMCOR 6M10C. De esta manera (Efluente de la EDAR-MFC-EDR) el sistema de EDR operó durante 1.200 horas: desde el 23 de Junio de 1995 hasta el 21 de Septiembre de 1995.

Durante este periodo, el sistema de EDR obtuvo un rechazo de sales del 74% y una recuperación del 86% (por cada 100 m<sup>3</sup> de agua de alimentación se obtiene 86 m<sup>3</sup> de agua desmineralizada). El consumo energético durante este periodo fue de 2 kWh por metro cúbico de agua producto. La duración de los seis filtros cartuchos (10  $\mu$ ) fue de 200 horas, y la limpieza química (con NaCl) se efectuó cada 240 horas de operación.

El agua de alimentación (agua microfiltrada) se trató con cloro, ocasionalmente, para reducir el ensuciamiento biológico de los filtros cartuchos y de las membranas de la EDR. Experimentos posteriores efectuados con agua siempre clorada prolongó la operación de los filtros cartucho a unas 400 horas.

Es importante establecer que la operación de la EDR no requiere agua microfiltrada (0,1-0,2  $\mu$ ). Un sistema de pretratamiento físico-químico (F/Q) es todo lo que se necesita, en la mayoría de los casos, para desmineralizar los efluentes de EDAR urbanas, usando EDR.

Las características de las aguas de alimentación y producto del sistema de EDR se muestran en la Tabla VI.

La Tabla VII presenta los valores típicos observados en el afluente y efluente de la EDAR del Sureste, y las aguas producto de las plantas de MFC y EDR.

PARÁMETROS	AGUA DE ALIMENTACIÓN		AGUA DE PRODUCTO		ELIMINACIÓN
	RANGO	MEDIA	RANGO	MEDIA	
pH	7,5-8,2	7,8	7,5-8,2	7,8	—
Conductividad, $\mu$ S/cm	2.320-3.980	2.900	2.320-3.980	2.900	—
Turbidez, NTU	7-49	15	0,14-17	<1,0	$\approx$ 100%
Sólidos en Suspensión, mg/L	13-96	33	0,4-3,6	<1,0	$\approx$ 100%
Sólidos Disueltos, mg/L	1.340-2.370	1.640	1.340-2.370	1.640	—
DBO <sub>5</sub> , mg/L	13->80	32	1,2-20	6	81%
DGO, mg/L	68-214	118	21-120	71	40%
COT, mg/L	9-55	30	6-50	22	27%
Coliformes Totales, colonias/100 ml	1,26-8,25*10 <sup>6</sup>	3,85*10 <sup>6</sup>	Ausencia-254	$\approx$ Ausencia	$\approx$ 100%
Coliformes Fecales, colonias/100 ml	15.000-864.000	243.000	Ausencia-254	$\approx$ Ausencia	$\approx$ 100%
SAR (Tasa de adsorción de Sodio)	4,0-10,9	7,3	4,0-10,9	7,3	—

TABLA V. Características de las aguas de alimentación y producto de la planta de microfiltración continua.

4. Depuración y Reutilización de Aguas en Gran Canaria por Antonio Marrero Domínguez y Pino Palacios Diaz. Consorcio Insular de Aprovechamiento de Aguas Depuradas de Gran Canaria. 1996 (SPAIN).
5. Las Aguas del 2000. Plan Hidrológico de Gran Canaria. Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria. 1995
6. Demonstration of MEMTEC Microfiltration for Disinfection of Secondary Treated Sewage. May 1992 (Australia).
7. Allison, Robert P. "Surface and Wasterwater Desalination by Electrodialysis Reversal" AWWA. March 1991 (USA)
8. Geishecker, Edward P." Reuse of Contaminated Water" National Water Supply Improvement Association. 1996 (USA).
9. Water Wasterwater, and Sludge Filtration. Edited by Saravanamuthu Vigneswaran and Roger Ben Aim. CRC Press, Inc. 1989 (USA).
10. Proceedings of Water Environment Federation 68 th Annual Conference and Exposition. Volumes 1 and 6. October 21-25, 1995 (USA).
11. Water Reuse. Water Environment Federation Digest Series. 1992 (USA).

#### AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen la cooperación, contribución y dedicación de todo el personal que trabajó en el proyecto: CANARAGUA, S.A., Centro de I + D DERECA, CEDEX, Gobierno Autónomo de Canarias, Mancomunidad del Sureste, EDAR y Laboratorio del Sureste. Muchas gracias a todos.

#### GLOSARIO

<b>Adsorción</b>	Acción que ejerce un cuerpo sólido de retener en su superficie moléculas, iones o coloides.
<b>Afluente</b>	Corriente de agua de alimentación.
<b>Amebas</b>	Protozoo; algunas especies habitan en el intestino del hombre y producen la amebiasis.
<b>Cancerígenos</b>	Compuestos que producen o inducen el desarrollo de células cancerosas.
<b>Cloración</b>	La aplicación de cloro o compuestos clorados al agua con el propósito de desinfectarla.
<b>Desinfección con Rayos UV</b>	Desinfectar con rayos ultravioleta de 254 nm de longitud de onda.
<b>Desnitrificación</b>	La conversión de nitratos en gas nitrógeno.
<b>Efluente</b>	Corriente de agua producto.
<b>Filtración</b>	Pasar una corriente líquida o gaseosa por un medio poroso para eliminar partículas.
<b>Microfiltración</b>	Filtrar a través de un medio poroso con un tamaño nominal entre 0,1 $\mu$ y 10 $\mu$ .
<b>Mutagénicos</b>	Compuestos que producen o inducen mutaciones genéticas.
<b>Nematodo</b>	Lombriz intestinal.
<b>Nitrificación</b>	La conversión de amoníaco y nitrógeno orgánico en nitratos.
<b>Ozonización</b>	Desinfectar u oxidar usando ozono.
<b>Patógenos</b>	Microorganismos que producen enfermedades.
<b>Reciclar Agua</b>	Usar el agua residual en un proceso cerrado por lo general sin ningún tratamiento o con un ligero tratamiento (p.e. en torres de enfriamiento).
<b>Reutilizar Agua</b>	El hecho de reclamar o usar de nuevo el agua residual, después de ser tratada en una EDAR seguida de un sistema o proceso avanzado.
<b>Tanque de Aireación</b>	Tanque donde se inyecta aire a través de difusores o aireados con turbinas para transferir oxígeno o eliminar compuestos volátiles (incorrectamente denominado tanque de AERACIÓN).

<b>Teratogénicos</b>	Compuestos que producen o inducen la formación de monstruosidades o deformaciones genéticas.
<b>Tratamiento Aerobio</b>	Tratamiento con aire u oxígeno molecular.
<b>Tratamiento Anaerobio</b>	Tratamiento en ausencia de aire u oxígeno molecular pero sí oxígeno atómico.
<b>Tratamientos Avanzados</b>	Incluye tratamientos fisico- químicos, microfiltración, desmineralización, ozonización...
<b>Tratamiento Primario</b>	Tratamiento para eliminar sólidos en suspensión y flotantes de aguas residuales urbanas.
<b>Tratamiento Secundario</b>	Tratamiento para eliminar un 85% de SS y DBO <sub>5</sub> , generalmente se emplea para describir el tratamiento biológico con lodos activos.
<b>Tratamiento Terciario</b>	Este término abarca los tratamientos para eliminar nutrientes (nitrógeno y fósforo), SS y DBO <sub>5</sub> para conseguir eliminaciones superiores al 85%.
<b>Ultrafiltración</b>	Filtrar a través de un medio poroso con un tamaño nominal entre 0,01 $\mu$ y 0,1 $\mu$ .
<b>Virus entéricos</b>	Se desarrollan sobre todo en el tubo digestivo y comprenden los los enterovirus, adenovirus, reovirus y virus de la hepatitis.

#### ABREVIACIONES

<b>A &amp; G</b>	aceites y grasas.
<b>CAG</b>	carbón activo granular.
<b>CAP</b>	carbón activo en polvo.
<b>CE</b>	conductividad eléctrica.
<b>COS</b>	carbono orgánico soluble.
<b>COT</b>	carbono orgánico total.
<b>COV</b>	compuestos orgánicos volátiles.
<b>DBO<sub>5</sub></b>	demanda bioquímica de oxígeno durante 5 días.
<b>DQO</b>	demanda química de oxígeno.
<b>DTeO</b>	demanda teórica de oxígeno.
<b>DTO</b>	demanda total de oxígeno.
<b>EC-50</b>	concentración efectiva que afecta al 50% de los organismos expuestos..
<b>ED</b>	electrodialisis .
<b>EDAR</b>	estación depuradora de aguas residuales.
<b>EDR</b>	electrodialisis reversible.
<b>IdL</b>	índice de Langelier.
<b>MBAS</b>	detergentes (del inglés methylene blue active substances).
<b>MFC</b>	microfiltración continua.
<b>NKT</b>	nitrógeno kjeldahl total.
<b>NMP</b>	número más probable.
<b>NTU</b>	unidades de turbidez (del inglés nephelometric turbidity units).
<b>OD</b>	oxígeno disuelto.
<b>OI</b>	ósmosis inversa.
<b>SAR</b>	tasa de adsorción de sodio (del inglés sodium adsorption ratio).
<b>SDI</b>	índice de ensuciamiento (del inglés silt density index).
<b>SDT</b>	sólidos disueltos totales.
<b>SS</b>	sólidos en suspensión.
<b>SSLM</b>	sólidos en suspensión del liquor mezclado.
<b>SSV</b>	sólidos en suspensión volátiles.
<b>SSVLM</b>	sólidos en suspensión volátiles del liquor mezclado.
<b>UF</b>	ultrafiltración.
<b>UV</b>	ultravioleta.