

# Puesta en marcha de la planta desaladora de aguas salobres por ósmosis inversa de la Universidad de Alicante: operación y control

DANIEL PRATS RICO (\*); M<sup>ª</sup> FERNANDA CHILLÓN ARIAS (\*\*); ANGEL FERRÓN (\*\*\*)

**RESUMEN** En la presente comunicación se muestran los resultados obtenidos durante la puesta en marcha de la planta desaladora de osmosis inversa que forma parte de un **Proyecto de Gestión Integral de Recursos Hídricos y Energéticos en la Universidad de Alicante**. Este proyecto pretende optimizar al máximo los escasos y deficientes recursos hídricos que existen en la zona. Además de suministrar agua, la planta cumple una función docente y de investigación.

Las membranas utilizadas pertenecen a la última generación de membranas de poliamida aromática, de alto flujo (8040-UHY-ESPA de HYDRANAUTICS), que permiten que la presión de trabajo del proceso sea de 12 Kg/cm<sup>2</sup>. Esto repercute en un ahorro energético de aproximadamente el 30% en el consumo del bombeo de alta presión respecto a membranas convencionales.

Los datos de sucesivos arranques muestran una estabilización del caudal y calidad del agua producto al cabo de unas 5 horas de la puesta en marcha.

Excluida la partida de personal, el coste de producción del agua de calidad apta como potable es de 35,61 pts/m<sup>3</sup> y el de calidad apta para el riego es de 25,33 (considerando que se mezcla el agua producida en la osmosis con agua salobre).

## STARTING UP OF THE BRACKISH WATERS, DESALTING PLANT BY REVERSE OSMOSIS OF THE ALICANTE UNIVERSITY: OPERATION AND CONTROL

**ABSTRACT** In this report, the results obtained during the setting-up of the desalination plant using reverse osmosis which form part of **The Integral Hydric and Energy Resource Management Project at Alicante University** are shown. The project endeavours to optimise to a maximum the scarce and deficient hydraulic resources which exist in the area. Apart from supplying water, the plant fulfils both an educational and investigative function.

The membranes used belong to the latest generation of high flow aromatic polyamide (8040-UHY-ESPA from HYDRANAUTICS), which allow a working pressure of the process of 12 Kg/cm<sup>2</sup>. This results in an energy saving of 30% in the consumption of the high-pressure pump with respect to conventional membranes.

The data for successive starts show a stabilisation of the flow and the quality of the water product approximately 5 hours after starting up the plant.

Excluding the cost of personnel, the cost of water of a quality suitable for drinking is 35.61 ptas/m<sup>3</sup> and the quality suitable for irrigation is 25.33 ptas/m<sup>3</sup> (taking into account that the water produced is mixed with brackish water).

**Palabras clave:** Gestión integral; Ósmosis inversa; Flujo; Coste; Poliamida aromática.

## 1. INTRODUCCIÓN

En 1993 se puso en marcha un **Proyecto de Gestión Integral de Recursos Hídricos y Energéticos** en la Universidad de Alicante. Este proyecto tiene la finalidad de autoabastecer y optimizar los recursos de agua y energía del Campus de la Universidad.

El consumo actual de agua de la Universidad de Alicante es del orden de 450 m<sup>3</sup>/día de agua potable y de 350-500 m<sup>3</sup>/día (invierno-verano) para regadío. Previsiblemente puede aumentar un 20-30% con la entrada en funcionamiento de nuevos edificios y zonas verdes que completarán las instalaciones del Campus.

Como parte del **Proyecto de Gestión Integral de Recursos Hídricos y Energéticos**, se ha construido una planta po-

tabilizadora mediante osmosis inversa aprovechando que el Campus de San Vicente se encuentra ubicado sobre un acuífero de agua salobre. Dicha planta cumple un triple objetivo dentro de la Universidad:

- Suministro de agua potable y de regadío.
- Docencia: formación de posgraduados, técnicos, etc.
- Investigación: optimización del proceso, minimización del coste de explotación, estudio de membranas y tecnologías de ahorro energético.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

Las características principales de la planta de osmosis inversa son:

Agua de Alimento	salobre subterránea
Capacidad de producción	450 m <sup>3</sup> /día
Conversión	72%
Nº de líneas	1

(\*) Subdirector del IUACA.

(\*\*) Investigadora del IUACA.

(\*\*\*) Investigador del IUACA.

IUACA. Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias Ambientales. Universidad de Alicante. España.

Nº de etapas	2
Nº total de membranas	25
Nº de membranas en 1ª etapa	15
Nº de membranas en 2ª etapa	10
Membranas	8040-UHF-ESPA-HYDRANAUTICS
Descripción del pretratamiento	Filtración Silex Cartuchos
	Dosificación de reactivos Ácido clorhídrico Hipoclorito sódico Bisulfito sódico antiincrustante
Descripción del postratamiento	Dosificación de reactivos Cal Hipoclorito sódico
Equipo de limpieza y flushing	
Depósito de acumulación	500 m <sup>3</sup>

En la Figura 1 se esquematiza el diagrama de flujo simplificado. Las membranas utilizadas pertenecen a la última generación de poliamida aromática de alto flujo, con la cual son necesarias presiones de trabajo netamente inferiores a las utilizadas hasta el momento. Esto ha permitido reducir considerablemente el consumo energético de la instalación. Este ahorro representa una gran mejora desde el punto de vista medioambiental además de un importante ahorro económico en los costes de operación.

Debido a que las membranas elegidas son de flujo elevado, ha sido necesario minimizar la relación de flujos desfavorable que se produce. Para solucionar este problema se ha colocado un "backpressure" (una válvula regulable que permite modificar si fuera necesario el incremento de presión creado). Esto provoca una pérdida en la mejora energética que presentan estas membranas de baja presión, pero aún así la presión requerida en este caso es mucho menor (30%) que la necesitada con las membranas tradicionales.

**2.1. EQUIPO DE CONTROL**

Se ha considerado de gran importancia la accesibilidad a los diferentes equipos, una completa instrumentación y sistema de control ya que la planta tiene que cumplir una función docente

formando técnicos y de investigación. Los principales equipos de instrumentación y control se indican en la Tabla I.

**2.2. CALIDAD DEL AGUA PRODUCTO**

En la Tabla II se muestra la calidad del agua de alimento, la simulación del agua osmotizada según el programa de diseño del fabricante y la del agua osmotizada en el momento del arranque de la planta.

Es importante señalar la elevada concentración de sulfatos y nitratos del agua de alimentos. La calidad del agua obtenida es algo inferior a la teórica, la eliminación de sales es del 96,8 % frente al 97,9 teórico. Los iones eliminados en menor proporción el potasio y los nitratos.

**EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PRODUCTO**

A lo largo del tiempo de funcionamiento se ha observado un aumento de la concentración de sales del agua obtenida como producto. Esto es debido a una ligera variación de la calidad del agua de alimento y al menor eliminación de sales por parte de las membranas (Tabla III).

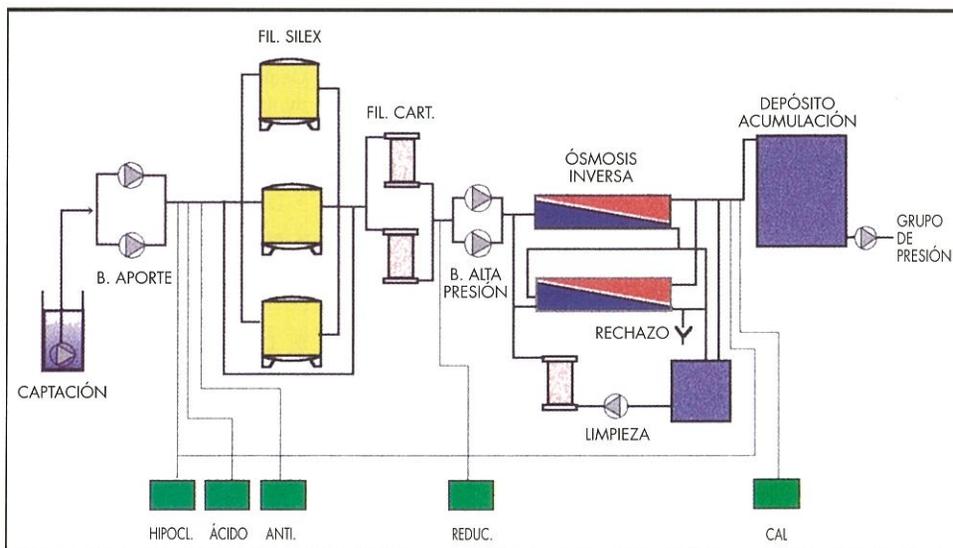
En el transcurso del tiempo se observa un aumento del paso de cloruros y de sodio debido a una menor eliminación por parte de las membranas y un aumento de la concentración de nitratos debido al aumento de su concentración en el agua de alimento. En general se observa una ligera disminución de la eliminación sales.

**DATOS DE LA PUESTA EN MARCHA**

En un principio el agua producida en la planta desaladora durante los primeros cuatro meses de funcionamiento se ha utilizado par el riego de las zonas ajardinadas de la Universidad mediante la regulación y mezclado con agua salobre en un lago artificial.

**CONDICIONES DE TRABAJO**

Caudal de permeado	450 m <sup>3</sup>
Temperatura del agua de alimento	20° C
Conversión	72%
Presión de trabajo	12 Kg/cm <sup>3</sup>
Concentración de reactivos dosificados	
Pretratamiento	HCl hasta obtener pH = 6,8
	Antiincrustante 6 ppm
Post-tratamiento	NaHClO 0,3 ppm



**FIGURA 1.** Planta de ósmosis inversa de la Universidad de Alicante.

PUNTOS DE MEDIDA	INSTRUMENTACIÓN
Toma de agua	Presión mediante manómetro.
Bomba de aporte	Presión de aspiración y de impulsión con manómetros. Presión de aspiración controlada por el PLC saltando la alarma por baja presión.
Filtros de silex	Medida de la presión antes y después de cada uno de los filtros mediante manómetros. Control de caudal por el PLC para la detección del ensuciamiento de los filtros.
Filtros de cartuchos (incluido el sistema de limpieza)	Medidores de presión antes y después de los filtros. Control mediante PLC de la presión diferencial para la detección de su ensuciamiento.
Antes de la bomba de alta presión	Control del pH mediante el PLC con alarma de alta y baja regulando la dosificación de ácido. Control del potencial redox por el PLC para regular la dosificación de hipoclorito con alarma de alta. Control de la conductividad mediante el PLC y alarma en caso de tener un valor alto.
Bomba de alta presión	Control de la presión de aspiración y de impulsión mediante manómetro. Con la presión de aspiración el PLC regula el variador de frecuencia de la bomba.
Bastidores de ósmosis inversa	Medida de la presión antes y después de cada uno de ellos mediante manómetros. Medida del caudal del primer bastidor. Medida del caudal total de permeado controlado por el PLC regulando el factor de conversión. Control de la conductividad del permeado.
Rechazo	Control de su presión mediante PLC, conectado al variador de frecuencia de la bomba de alta presión. Control del caudal por el PLC, que junto con el dato del caudal de permeado regula el factor de conversión.
Depósitos de reactivos	En todos ellos se controla el nivel mediante el PLC enviando una señal en caso de que sea bajo. Se dispone de variador de frecuencia en la bomba dosificadora de ácido.
Depósito de limpieza	Dispone de un controlador de nivel conectado al PLC que para la bomba de limpieza en caso necesario.
Después de la bomba de limpieza	Medida del caudal.
Depósito de acumulación de agua tratada	Control sobre el nivel y pH del agua mediante PLC con señales por alta o baja en cada uno de los casos. Regulación de la dosis de cloro.
Grupo de presión	Aporte de agua a presión prefijada a la red de potable.

TABLA I. Instrumentación de la instalación.

PARÁMETRO	AGUA APORTE	AGUA OSMOTIZADA TEÓRICA	ELIMINACIÓN TEÓRICA (%)	AGUA OSMOTIZADA REAL	ELIMINACIÓN REAL (%)
pH	7,0	5,4		5,7	
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	350	2	99,4	3	99,1
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	190	1	99,5	1	99,5
Na <sup>+</sup> (mg/l)	900	28	96,9	33	96,3
K <sup>+</sup> (mg/l)	16	1	93,8	5	68,8
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	340	13	96,2	17	95,0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	1.600	8	99,5	26	98,4
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	1.125	27	97,6	42	96,3
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	150	18	88,0	22	85,3
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	17,5	0,2	98,8	1,3	92,6
T.D.S. (mg/l)	4.689	100	97,9	150,3	96,8

TABLA II. Agua de aporte, osmotizada y teórica.

#### DATOS PUNTUALES DE TRES ARRANQUES DE LA PLANTA

La secuencia empleada en el arranque de la planta se muestra en la Tabla IV.

En las gráficas que se presentan a continuación se muestra datos obtenidos en tres arranques de la planta desaladora.

En las Figuras 2, 3 y 4 se muestra la variación del caudal de agua tratada.

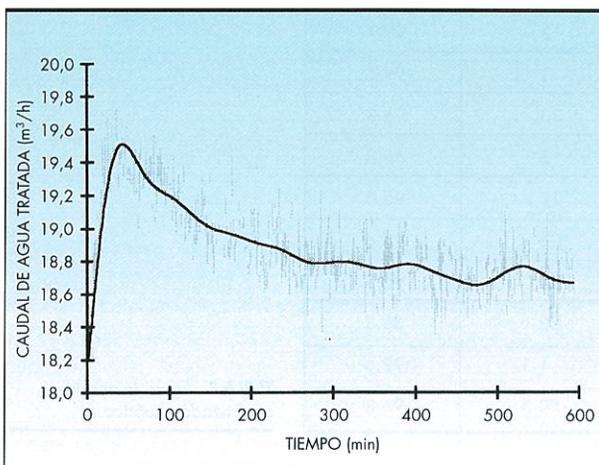
En los tres casos se observa un primer aumento brusco del caudal de agua tratada en los primeros minutos de la puesta en marcha y una posterior disminución hasta estabilizarse en un valor medio de 18,75 m<sup>3</sup>/h.

PARÁMETRO	AGUA APORTE 7/2/97	AGUA OSMOTIZADA 7/2/97	AGUA APORTE 5/3/97	AGUA OSMOTIZADA 5/3/97	AGUA APORTE 8/4/97	AGUA OSMOTIZADA 8/4/97
pH	6,9	5,3	7,0	5,6	7,0	5,7
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	347	0,6	390	0,3	383	0,3
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	291	0,5	242	0	242	0
Na <sup>+</sup> (mg/l)	978	54	955	63	946	64
K <sup>+</sup> (mg/l)	21	1,1	21	1,1	21	1,1
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	359	11,4	355	7,6	362	8,0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	1.521	7	1.210	8	1.300	9
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	1.250	48	1.396	59	1.353	60
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	165	37	168	38	186	41
T.D.S. (mg/l)	4.932	159,6	4.737	174,0	4.793	183,4
% de eliminación de T.D.S. calc.	—	96,8	—	96,3	—	96,2

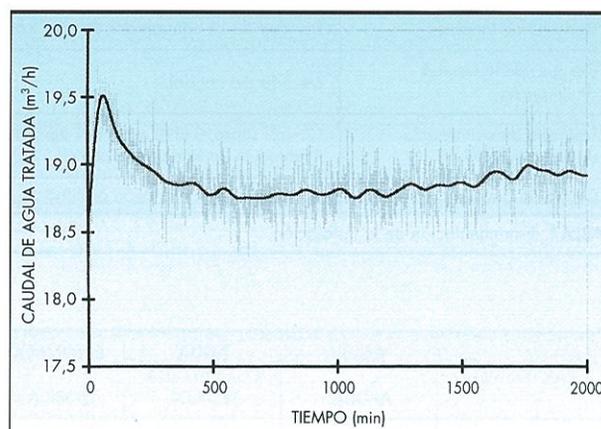
**TABLA III.** Variación de la calidad del agua producto.

TIEMPO (minutos)	EQUIPO
0	Compresor en servicio
2	Bomba pozo en marcha Filtros de sílex en servicio Agitador de cal en marcha
2,5	Bomba aporte en marcha Bombas antiincrustante en marcha Bomba ácido clorhídrico en marcha
7,5	Bomba de alta presión en marcha Bomba hipoclorito post-tratamiento en marcha Bomba de cal en marcha

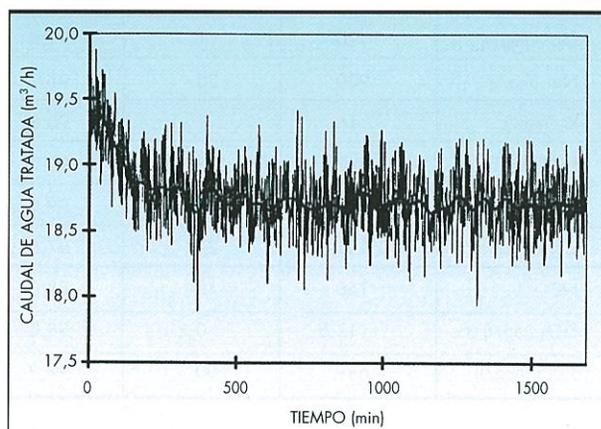
**TABLA IV.** Secuencia de arranque.



**FIGURA 2.** Prueba 1.



**FIGURA 3.** Prueba 2.



**FIGURA 4.** Prueba 3.

Las Figuras 5, 6 y 7 muestran la variación de la conductividad del agua de alimento y del agua tratada.

En los tres casos se observa un desarrollo similar, en un principio se produce una disminución de la conductividad tanto

del alimento como del agua tratada, esto puede corresponder al tiempo que tarda la planta en arrancar, a continuación se produce un progresivo aumento de la conductividad ya que se produce una variación en la caída del agua del acuífero hasta que

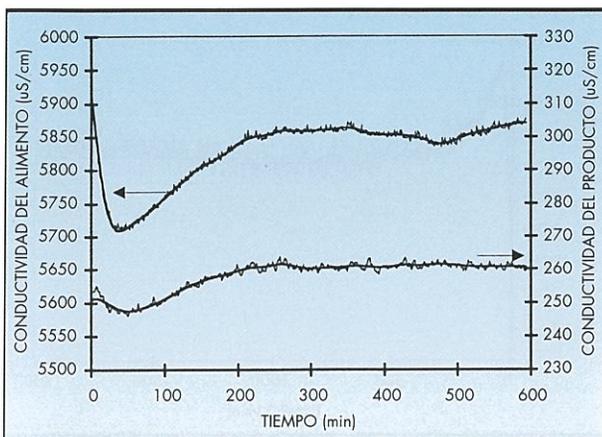


FIGURA 5. Prueba 1.

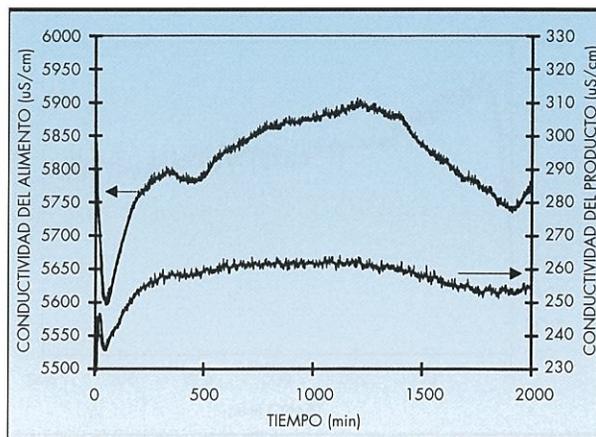


FIGURA 6. Prueba 2.

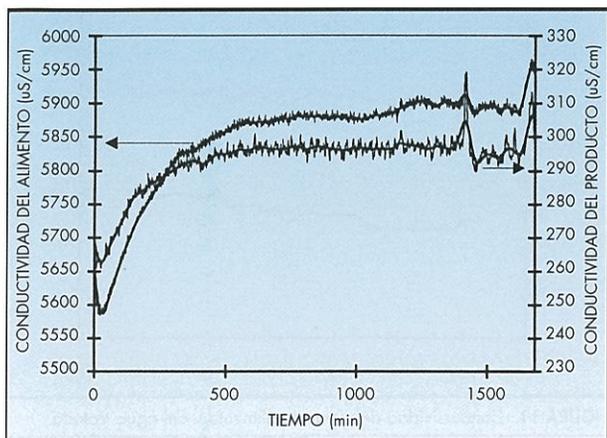


FIGURA 7. Prueba 3.

estabiliza aproximadamente entre las 3 y las 8 horas de haber comenzado la extracción.

Las Figuras 8, 9 y 10 muestran la variación de la velocidad de la bomba de alta presión.

A partir del arranque de la bomba de alta presión se observa un progresivo aumento de la velocidad de la bomba debido a la existencia de un variador de frecuencia. A continuación se observa una disminución debido al aumento de la conductividad del agua a tratar.

Al producirse un aumento de la conductividad del agua de alimento y debido a la presencia del variador de frecuencia, que tiende a mantener la presión de trabajo constante en un valor de 12 Kg/cm<sup>2</sup>, se produce una reducción de la velocidad de la bomba de alta presión y se observa una reducción del caudal de agua producto (Figuras 10, 11 y 12). De forma paralela se observa un aumento similar en la conductividad del agua producto.

### EVOLUCIÓN A LO LARGO DEL TIEMPO

Las gráficas que se presentan a continuación muestran los datos recogidos durante el tiempo de funcionamiento de la planta. Durante todo el período no se ha realizado ninguna limpieza de filtros de arena ni membranas ni se han sustituido filtros de cartuchos por no resultar necesario.

La Figura 11 muestra la conductividad del agua de alimento y del agua tratada, la Figura 12 muestra el porcentaje de eliminación de sales calculado a partir de los datos de la Figura 11.

La Figura 13 muestra la conductividad del agua tratada en cada uno de los tubos de presión.

De las gráficas anteriores se desprende que la salinidad del agua de alimento no varía significativamente mientras que la salinidad del agua tratada ha aumentado ligeramente de forma progresiva. El aumento de paso de sales se produce siguiendo una misma tendencia en las membranas de los tres tubos de primera etapa y otra tendencia en los tubos de segunda etapa. Por tanto, debido a un ensuciamiento de las membranas se observa la disminución del porcentaje de eliminación de sales.

La Figura 14 muestra la presión de trabajo y las Figuras 15 y 16 el valor del SDI tanto del agua bruta como del agua pretratada.

En cuanto a la presión de trabajo se mantiene constante mediante un variador de frecuencia.

El valor del SDI del agua de alimento en ningún momento es superior a 1,5. Se observa la reducción del SDI después del pretratamiento, teniendo normalmente un valor inferior a 1 e incluso en muchas ocasiones inferior a 0,5.

Las Figuras 17 y 18 presentan la diferencia de presión de cada una de las etapas de ósmosis.

No se observan variaciones significativas en la diferencia de presión de cada una de las etapas de ósmosis.

En la Figura 19 se presenta el caudal de agua de alimento y de agua tratada.

El caudal de agua es de aproximadamente el valor teórico de 18,75 m<sup>3</sup>/h.

### COSTES DE EXPLOTACIÓN

El coste del agua producida ha sido calculado a partir de los datos reales de explotación y de algunos datos estimados ya que debido al poco tiempo de funcionamiento no se dispone aún de datos reales. No se ha incluido el coste de personal encargado del mantenimiento de la planta ya que dicho personal pertenece a la universidad de Alicante. Los costes de explotación considerando precios de 1997 son los siguientes:

### REACTIVOS

Dosificación de antiincrustante (3,5 ppm)	4,29 pts/m <sup>3</sup>
Ácido clorhídrico (hasta pH=6,8)	2,12 pts/m <sup>3</sup>
Hipoclorito sódico (0,5 ppm postratamiento)	0,10 pts/m <sup>3</sup>
Reactivos de limpieza (estimado)	0,01 pts/m <sup>3</sup>
<b>Total</b>	<b>6,52 pts/m<sup>3</sup></b>

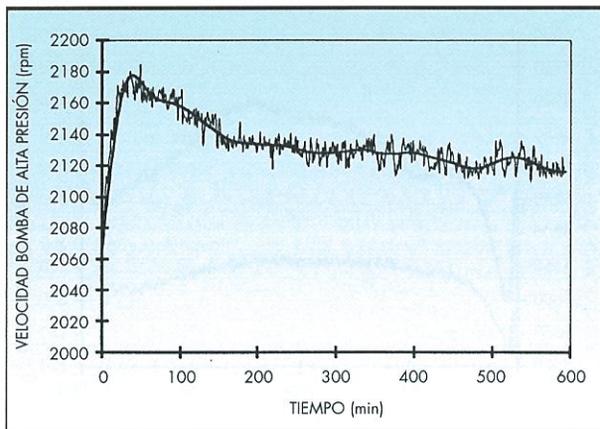


FIGURA 8. Prueba 1.

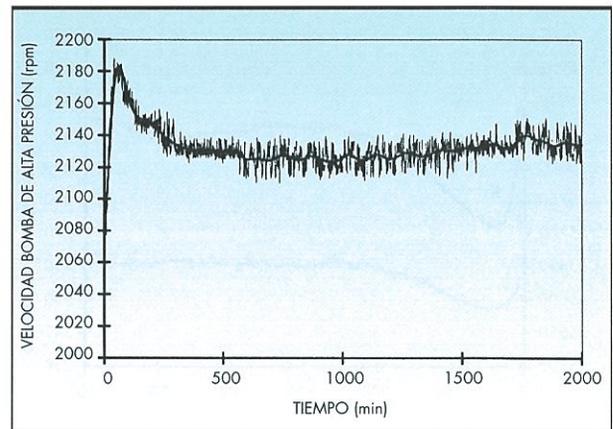


FIGURA 9. Prueba 2.

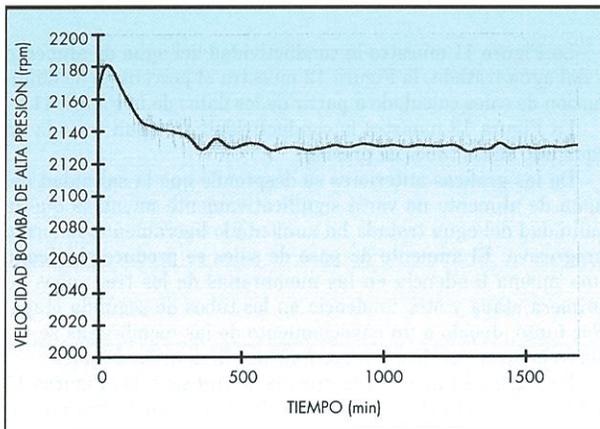


FIGURA 10. Prueba 3.

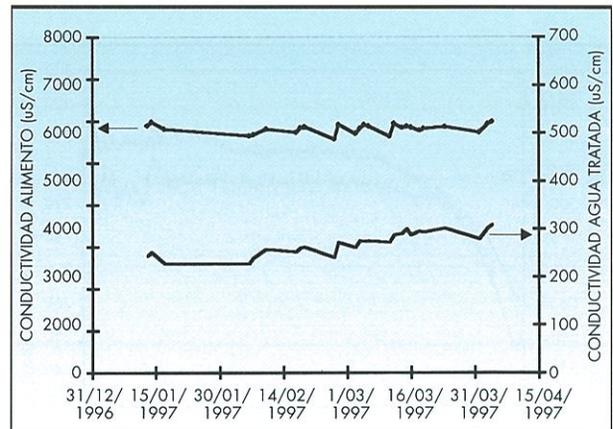


FIGURA 11. Conductividad del agua de alimento y del agua tratada.

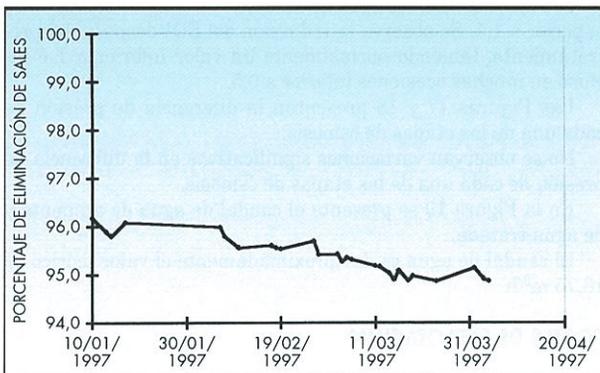


FIGURA 12. Porcentaje de eliminación de sales.

Los datos anteriores corresponden a un consumo de agua para riego, si el agua se utiliza para el consumo humano se añadiría cal (60 ppm):

Cal (estimado)	3,00 pts/m <sup>3</sup>
<b>Total</b>	<b>9,52 pts/m<sup>3</sup></b>

**ENERGIA**

<i>Término de potencia</i>	
Potencia instalada	59,24 Kw.

Precio Kw/mes	336 pts/Kw mes
Coste potencia instalada	1,45 pts/m <sup>3</sup>
<i>Término de energía</i>	
Potencia específica absorbida	1,37 Kw-h/m <sup>3</sup>
Precio del Kw-h	11,28 pts/Kw-h
Precio ponderado del Kw-h	11,95 pts/Kw-h
Coste término de energía	16,47 pts/m <sup>3</sup>
<b>Total</b>	<b>17,92 pts/m<sup>3</sup></b>

**REPOSICION DE MEMBRANAS**

Nº de membranas instaladas	25
Precio unitario	182.500 pts.
% de reposición anual (estimado)	20%
Coste membranas	5,55 pts/m <sup>3</sup>

**CONSUMIBLES**

<i>Filtración de protección</i>	
Cartuchos (operativos), unidades	12
Precio cartucho	1.935 pts/ud.
Frecuencia cambio de cartuchos por año	6
Coste cambio cartuchos (estimado)	0,84 pts/m <sup>3</sup>

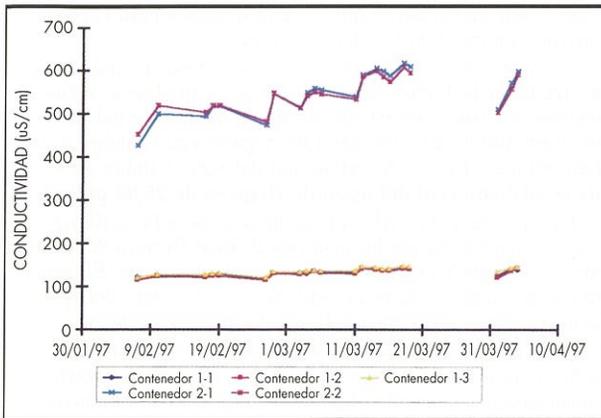


FIGURA 13. Conductividad del producto de cada uno de los tubos de presión. (Los contenedores 1-1, 1-2 y 1-3 pertenecen a primera etapa y los contenedores 2-1 y 2-2 a segunda etapa).

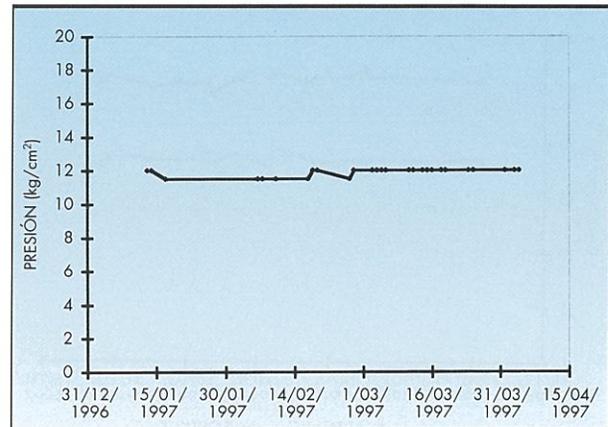


FIGURA 14. Presión del agua de alimento.

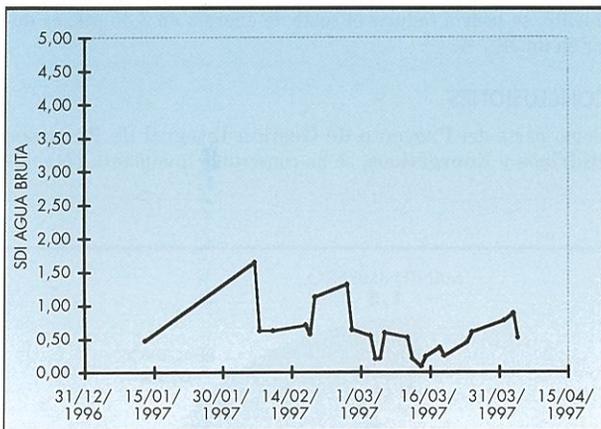


FIGURA 15. SDI del agua bruta.

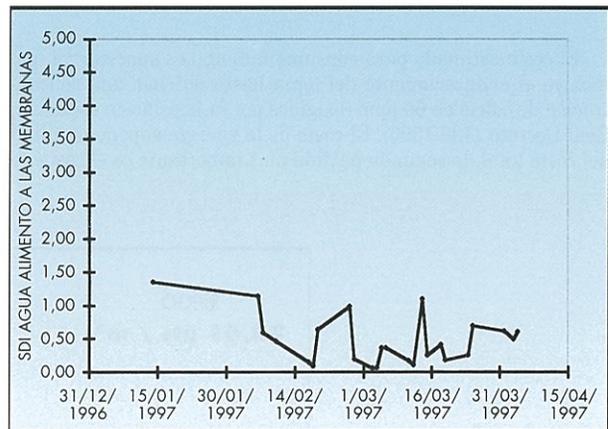


FIGURA 16. SDI del agua pretratada.

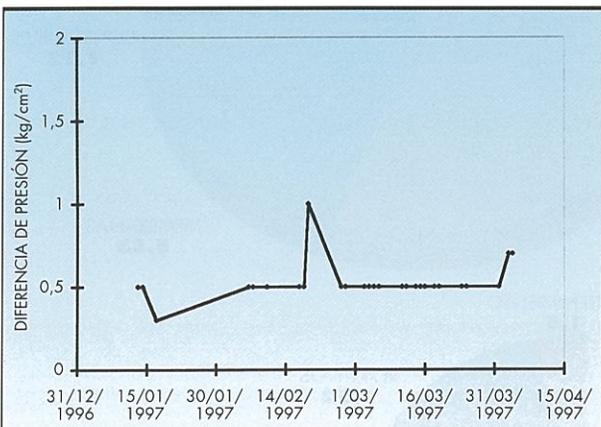


FIGURA 17. Diferencia de presión en la primera etapa.

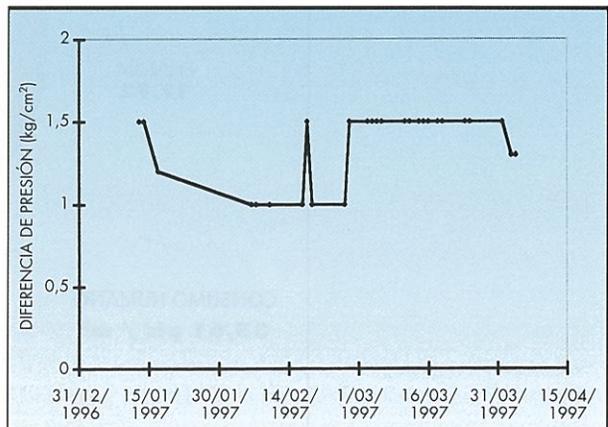


FIGURA 18. Diferencia de presión en la segunda etapa.

*Filtración en equipo limpieza*

Cartuchos (operativos), unidades	12
Precio cartucho	1.935 pts/ud.
Frecuencia cambio de cartuchos por año	2
Coste cambio cartuchos (estimado)	0,28 pts/m <sup>3</sup>
<b>Total (estimado)</b>	<b>1,12 pts/m<sup>3</sup></b>

**MANTENIMIENTO**

Se incluyen en este apartado otras operaciones de mantenimiento en la instalación.

**Total (estimado) 1,50 pts/m<sup>3</sup>**

En la Figura 20 se resumen los costes totales de agua osmotizada para riego y consumo humano.

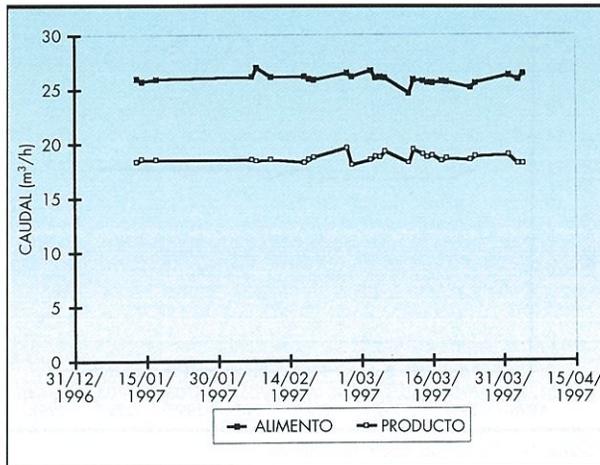


FIGURA 19. Caudal de agua producto.

El coste estimado para consumo humano es superior ya que incluye el endurecimiento del agua hasta obtener una concentración de calcio de 60 ppm (exigidos por la legislación española, Real Decreto 1138/1990). El coste de la energía supone la mitad del coste total, la segunda partida más importante es el coste de

reactivo que en el caso de que el agua se utilice para el consumo humano supone el 26,7 % del coste total.

El coste real del agua destinada para riego es inferior a la mostrada en la Figura 20 ya que el agua producida mediante osmosis inversa es mezclada con agua procedente del acuífero, de forma que un 25% del agua de riego es agua salobre. Considerando que el coste de extracción del agua salobre es de 3,5 pts/m<sup>3</sup> el coste real del agua de riego es de 25,33 pts/m<sup>3</sup>.

La Universidad de Alicante se ha acogido a la tarifa tipo 1,1 y a una discriminación horaria tipo 2 (Real Decreto 2657/1996) por lo que paga las tarifas mostradas anteriormente. El término de energía ponderada es el equivalente a la suma del término de energía más el complemento por discriminación horaria.

Si la planta fuese independientemente de la Universidad a la hora del pago de la energía, el coste de la mismo podría ser menor acogiéndose a otro tipo de tarifa y de discriminación horaria. Si se acogiese a la tarifa 2.1 y al tipo 0 de discriminación horaria (suponiendo un funcionamiento de 24 h/día, 365 días al año), el coste sería el que se muestra en la Tabla V.

Por tanto, acogiéndose a una tarifa y discriminación horaria más adecuada a las necesidades y suponiendo un funcionamiento, se podría reducir el coste de energía en 3,35 pts, es decir en un 18,7 %.

### CONCLUSIONES

Como parte del Proyecto de Gestión Integral de Recursos Hídricos y Energéticos, se ha construido una planta potabili-

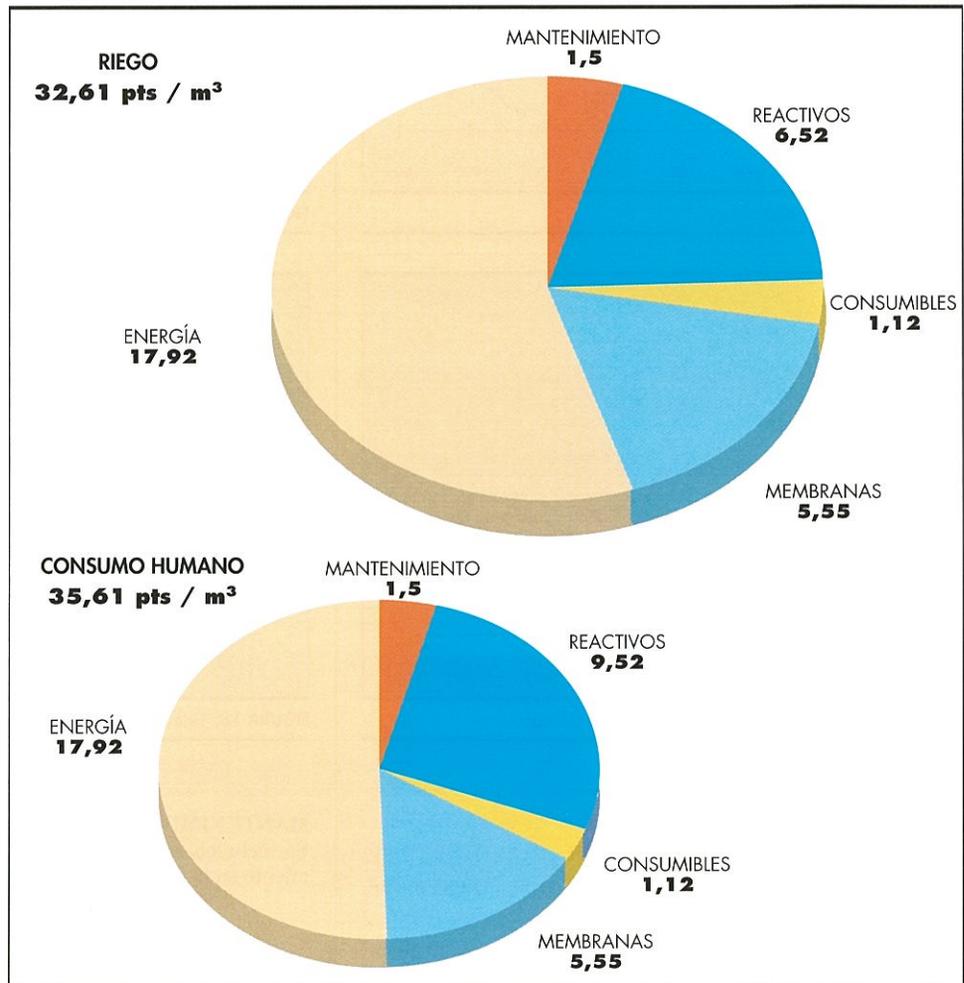


FIGURA 20. Resumen de costes totales de producción de agua osmotizada (ptas / m<sup>3</sup>).

	D.H. Tipo 0
Término Potencia	684 pts/Kw mes
Término Energía	10,14 pts/Kw-h
Término energía ponderada	8,48 pts/Kw-h
Coste del m <sup>3</sup>	14,57 pts/m <sup>3</sup>

TABLA V. Coste energético.

zadora de agua salobre mediante osmosis inversa, la capacidad de producción de dicha planta es de 450 m<sup>3</sup>/día. La planta suministra de agua potable al Campus de San Vicente, al mismo tiempo se utiliza en la formación de posgraduados, técnicos, etc., y en investigación (optimización del proceso, minimización del coste de explotación, estudio de membranas y tecnologías de ahorro energético).

Las membranas utilizadas pertenecen a la última generación de poliamida aromática de alto flujo, con la cual son necesarias presiones de trabajo netamente inferiores a las utilizadas hasta el momento, la potencia específica absorbida es de 1,37 Kw-h/m<sup>3</sup> introduciendo el agua a la membranas a una presión de 12 Kg/cm<sup>3</sup>. Este ahorro energético representa una gran mejora desde el punto de vista medioambiental además de un importante ahorro económico en los costes de operación.

Durante el tiempo de funcionamiento no ha sido necesario realizar limpiezas en los filtros de arena ni se ha realizado la sustitución de los filtros de cartucho por no haberse experimentado un ensuciamiento de los mismo apreciable.

Los datos de sucesivos arranques muestran que se produce la estabilización del caudal y calidad del agua producto al cabo de unas 5 horas de la puesta en marcha.

De los datos obtenidos se desprende que al producirse un aumento de la conductividad del agua de alimento y debido a la presencia del variado de frecuencia, que tiende a mantener la presión de trabajo constante en un valor de 12 Kg/cm<sup>3</sup>, se produce una reducción de la velocidad de la bomba de alta presión y se observa una reducción del caudal de agua producto. De forma paralela se observa un aumento similar en la conductividad del agua producto.

En el transcurso del tiempo se observa un aumento del paso de cloruros y de sodio debido a una menor eliminación por parte de las membranas y un aumento de la concentración de nitratos debido al aumento de su concentración en el agua de alimento. En general se observa una ligera disminución de la eliminación de sales.

El coste del agua para riego es de 25,33 pts/m<sup>3</sup>. Este coste ha sido calculado a partir de los datos reales de explotación (energía y consumo de reactivos) y de datos estimados de parámetros como el coste de membranas, filtros de cartucho, reactivos de limpieza y otros costes de mantenimiento ya que debido al poco tiempo de funcionamiento no se dispone de datos reales. El coste de personal no ha sido incluido ya que éste pertenece a la Universidad.

El coste energético sería menor en el caso de que la planta funcionase de forma independiente a la Universidad, acogiéndose a una tarifa y discriminación horaria más adecuada a las necesidades se podría reducir el coste de energía en 3,35 pts, es decir en un 18,7%.

Lloyd's Register

# EN Su mejor opción DESALACIÓN

**El sello de Calidad en Desalación  
Más de 25 plantas nos avalan**

- Tecnología de la Inspección y valor añadido.
- Certificación de Calidad de Equipos.
- Certificación de Calidad de Instalaciones y pruebas de recepción.
- Certificación de cumplimiento contractual.

**Su mejor opción**

Lloyd's Register España, S.A.

Princesa, 29 - 1º • 28008 Madrid

Tel.: +34 1 540 12 10 • Fax: +34 1 541 62 68

Certificado ISO 9001 por BSI Quality Assurance nº FS 30240



CATALUÑA: Vila Vilá, 19 08004 Barcelona Tel. 93 441 04 00/442 38 06 Fax 93 329 58 22 - Robert D'Aguiló, 41 43003 Tarragona Tel. 977 23 88 50 Fax 977 23 88 50 • PAIS VASCO: Las Mercedes, 31 Edif. Abra 3 48930 Las Arenas - Guecho (Vizcaya) Tel. 94 480 11 10 Fax 94 480 13 50 - Plaza Pío XII, 1 Edif. Astoria 20010 San Sebastián (Guipúzcoa) Tel. 943 45 14 27/ 47 25 23 Fax 943 46 70 52 • ASTURIAS: Langreo, 4 33206 Gijón Tel. 985 34 95 15/35 46 42 Fax 985 34 40 89 • GALICIA: Concepción Arenal, 3 36201 Vigo (Pontevedra) Tel. 986 43 19 33 Fax 986 43 82 37 - Real, 2 y 4 15402 Ferrol (La Coruña) Tel. 981 32 01 51 Fax 981 32 41 13 • VALENCIA: Manuel Soto Ingeniero, 15 46024 Valencia Tel. 96 367 54 52/367 55 50 Fax 96 367 68 72 • ANDALUCÍA: Avda. del Puerto, 2 11006 Cádiz Tel. 956 25 52 29/25 59 38 Fax 956 25 87 10 - Residencial Bahía de Algeciras, calle Plutón, 14 11207 Algeciras (Cádiz) Tel. 956 60 10 92 Fax 956 60 31 86 • CANARIAS: Franchy Roca, 5 35007 L. P. G. Canaria Tel. 928 27 62 73/26 88 93 Fax 928 26 01 45 - San Vicente Ferrer, 5 Entlo. 38002 S. C. Tenerife Tel. 922 24 81 11 Fax 922 24 83 26 • CASTILLA/LEÓN: Juan de Valladolid, 4 47014 Valladolid Tel. 983 17 74 77 Fax 983 33 24 64 • BALEARES: Berenguer de Tornamira, 13 07012 Palma de Mallorca Tel./Fax 971 72 69 33