

Aplicación práctica de turbinas de recuperación de energía en desalinización de aguas salobres

MANUEL RUBIO VISIERS (*); DOMINGO ZARZO MARTÍNEZ (*); JOSÉ HERNÁNDEZ NAVARRO (**)

RESUMEN En este estudio se describen las experiencias prácticas adquiridas sobre recuperación de energía en una planta desalinizadora de aguas salobres.

Se observan los resultados obtenidos en un sistema de ósmosis inversa en cuatro líneas de 3.375 m³/d. Con el fin de equilibrar hidráulicamente el sistema, se instaló una turbina recuperadora de energía entre etapas. Se ha estudiado la evolución de la eficiencia del sistema con el tiempo bajo distintas condiciones de trabajo, con salinidades del agua de aporte que variaron desde 6.900 hasta 25.000 µS/cm.

Como conclusión se describen los reducidos consumos de energía producidos por la instalación, como resultado de una optimización energética global que incluye la autogeneración de energía.

PRACTICAL APPLICATION OF ENERGY RECOVERY TURBINES IN BRACKISH WATER DESALINATION SYSTEMS

ABSTRACT In this study are described the practical acquired experiences about energy recovery in a brackish water desalination plant.

We present the results obtained in a reverse osmosis system with four trains of 3.375 m³/d. With the aim of balancing the system, we installed a energy recovery turbine between stages. The evolution of the system's efficiency with time under different working conditions has been studied, with water salinities that varied from 6,900 to 25,000 µS/cm.

Finally, the reduced costs of energy produced by the installation are described, as a result of a global energy optimization that includes the energy generation.

Palabras clave: Energía; Salmuera; Rechazo; Presión; Eje; Turbina; Salinidad.

1. ANTECEDENTES

1.1. UTILIZACIÓN DE SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA EN DESALINIZACIÓN

Desde los comienzos de la aplicación de la ósmosis inversa para desalinización es bien conocida la aplicación de sistemas de recuperación de energía. La investigación sobre sistemas que permitieran reducir el consumo específico de las desaladoras rápidamente fijó su atención en la recuperación de la energía residual de la salmuera, una energía hasta el momento desaprovechada.

Han sido diversos los sistemas de aprovechamiento de energía residual. Entre los más importantes destacan;

- Utilización de la corriente de salmuera residual para la impulsión de una turbina tipo Pelton, que acciona un generador para la producción de energía eléctrica.
- Utilización de la corriente de salmuera residual para impulsar turbinas tipo Pelton que accionen el eje motriz de las bombas de alta presión. Suponen un eje común turbina-bomba.
- Turbinas tipo de álabe de entrada variable.
- Bombas en funcionamiento invertido.

Entre estos sistemas las turbinas tipo Pelton son las que ofrecen una mayor eficiencia, aunque suponen una inversión inicial superior, además de tener una limitación práctica por tamaño.

En general, estos sistemas siempre se han aplicado a plantas de ósmosis inversa de agua de mar, por un motivo fundamental; el aprovechamiento de la energía residual solo es posible con caudales importantes y trabajando a presiones elevadas.

A diferencia de las plantas de ósmosis inversa de agua de mar, los rechazos de plantas de ósmosis inversa de aguas salobres suponen únicamente un 25-35% del caudal aportado (frente al 50-60% en agua de mar), y las presiones alcanzadas se encuentran en valores entre 10-20 Kg/cm². En estas condiciones es difícil encontrar un sistema de recuperación que presente rendimientos aceptables.

1.2. DESCRIPCIÓN DE LA TURBINA RECUPERADORA.

Las turbinas recuperadoras utilizadas en este trabajo son TURBOCHARGER™, Modelo 450HR, desarrolladas por PEI (Pump Engineering Inc.). Fueron diseñadas específicamente para esta instalación de acuerdo a los caudales y presiones de diseño y a la previsión del aumento de la salinidad.

El HYDRAULIC TURBOCHARGER™ o TURBO™ es un sistema de recuperación de energía hidráulica que transfiere la energía producida por la presión en una corriente (la de rechazo) a otra corriente diferente.

El TURBO™ está constituido por dos secciones, cada una de las cuales contiene un impulsor. El impulsor de rechazo o turbina extrae la energía hidráulica del rechazo y la convierte en

(*) Ldos. en CC. Químicas. Director y Director Técnico respectivamente de SOCIEDAD ANÓNIMA DEPURACIÓN Y TRATAMIENTOS (SADYT).

(**) Ingeniero Agrónomo. Presidente de la Comunidad de Regantes de Mazarrón (MURCIA).

energía mecánica. El impulsor de alimentación reconvierte dicha energía mecánica en forma de incremento de presión a la corriente de alimentación.

Existen dos formas de instalación de la turbina recuperadora;

- un acoplamiento directo al eje de la bomba de alta presión, reduciendo así la presión que es necesario aportar a la misma, o bien,
- colocada entre las etapas de ósmosis, incrementando la presión en segunda etapa. En esta posición se consigue además equilibrar hidráulicamente ambas etapas, especialmente cuando la salinidad es elevada.

En la figuras 1 y 2, se muestran ambas situaciones.

1.3. PLANTA DESALINIZADORA DE MAZARRÓN. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

El presente estudio se centra en las experiencias adquiridas en una planta desalinizadora de aguas salobres de origen subterráneo, en la cual ha tenido lugar una variación muy importante de las condiciones de trabajo con el tiempo, debido a un incremento de la conductividad del agua de aporte.

La planta utilizada en este estudio pertenece a la Comunidad de Regantes de Mazarrón, que se extiende por los términos municipales de Mazarrón, Lorca y Cartagena, en la provincia de

Murcia (en el Sudeste de España). La aplicación del agua desalinizada es el riego agrícola, siendo los cultivos principales el tomate, melón, lechuga y en menor medida almendros y agrrios.

Los datos principales de la desalinizadora son:

Capacidad máxima de tratamiento:	13.500 m ³ /día
Origen del agua:	salobre de pozos
Número de líneas de ósmosis:	4
Producción unitaria:	3.300 m ³ /día
Conversión:	65-70%
Tipo membrana:	poliamida en arrollamiento espiral. SU-720 FC (TORAY)
Configuración:	(18:9) x 6
Potencia instalada:	1.500 Kw
Alimentación de red por transformador:	1.500 KVA
Alimentación instalación alternativa:	3 grupos electrógenos de 750 CV
Fecha de finalización:	noviembre 1995

La línea de tratamiento consta de 4 pozos gobernados desde el ordenador central, depósito de almacenamiento,

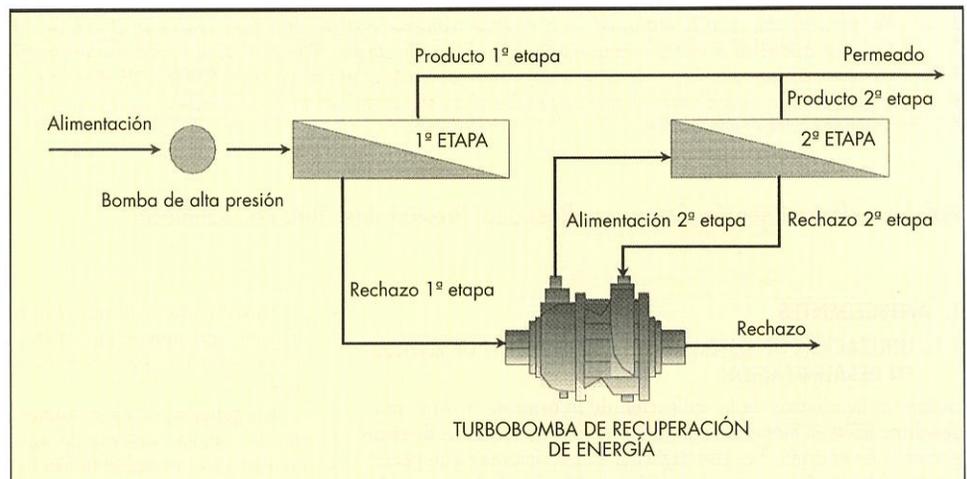


FIGURA 1. Colocación de la turbina entre etapas.

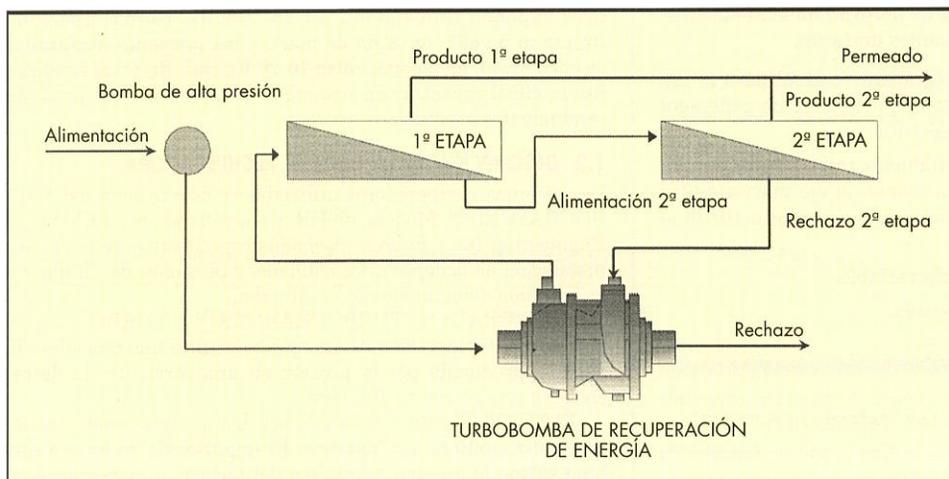


FIGURA 2. Colocación de la turbina en el aporte de la bomba de alta presión.

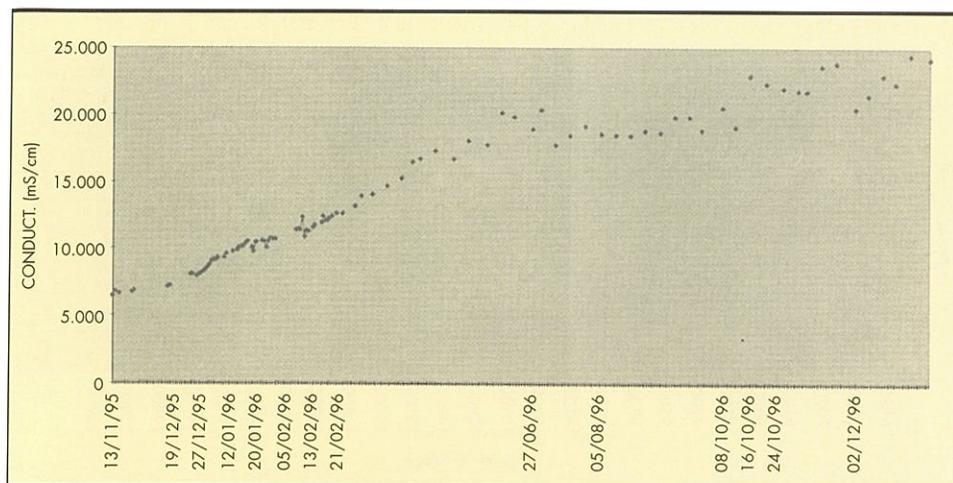


FIGURA 3. Variación de la conductividad con el tiempo.

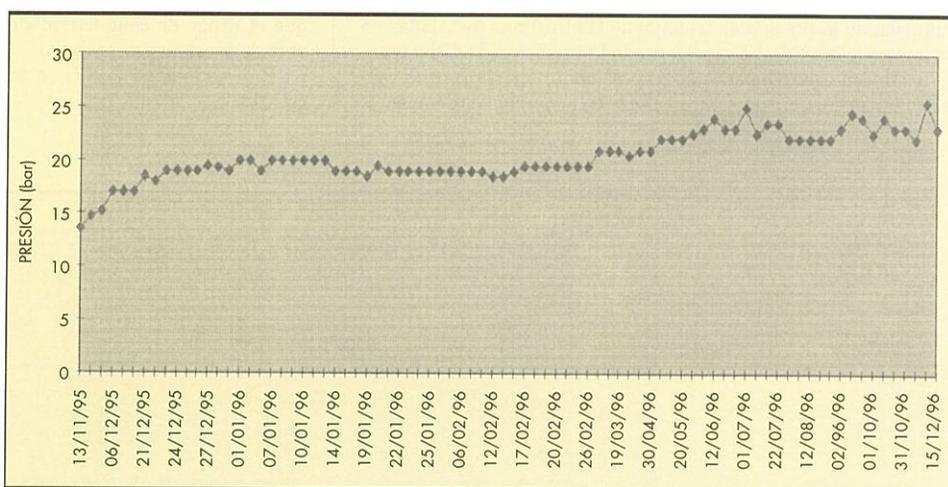


FIGURA 4. Variación de la presión de aporte con el tiempo. Tren 1.

bombeo de precalentamiento de agua para el aprovechamiento del calor producido en la autogeneración, bombeo de baja presión, filtración multimedia sílex/antracita, dosificación de reactivo antiincrustante, dosificación de hipoclorito sódico y bisulfito sódico (de utilización opcional), filtración de seguridad a 10 micras, bombeo de alta presión monoetapa de alta velocidad dotado de variación de frecuencia, módulos de ósmosis inversa, turbobomba de recuperación de energía entre etapas, equipo de limpieza y flushing y embalse de agua producto.

La instalación de ósmosis inversa ocupa una superficie de 1.000 m²; la nave de producción de energía eléctrica por autogeneración 300 m² y el embalse de agua producto, realizado en PVC, tiene una capacidad de 92.000 m³. El presupuesto total de las obras fue de 786.000.000 Pts.

La planta fue diseñada específicamente para poder trabajar en condiciones de presión muy variables, ya que se preveía una progresiva salinización del agua de aporte, dada la proximidad del acuífero al mar.

2. EXPERIENCIAS Y RESULTADOS

En el siguiente apartado se exponen algunos datos relevantes del funcionamiento de la planta desalinizadora, haciendo especial hincapié en la variación de las condiciones de trabajo con el tiempo.

2.1. DATOS DE FUNCIONAMIENTO. AUMENTO DE LA SALINIDAD

Tal como se preveía al inicio del diseño de la planta, la conductividad de aporte se ha ido incrementando con el tiempo considerablemente. En la figura 3 se muestra esta evolución desde el 13/11/95 hasta el 31/12/96. Se observa un incremento desde 6.500 µS/cm hasta 24.200 µS/cm en un periodo prácticamente de un año.

2.1.1. Variación de la presión de operación con la salinidad

En la figura 4 se muestra el aumento de la presión de trabajo de membranas con el tiempo, para el tren 1. El comportamiento en los trenes restantes fue equivalente. Se muestra asimismo la variación de la presión de aporte con el aumento de conductividad para el mismo tren (figura 5).

Los datos expresados no han sido normalizados, ya que la temperatura ha sido constante ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$) en todo el periodo del estudio, gracias al calentamiento del agua de aporte producido por la autogeneración y al efecto regulador del depósito de aporte.

Las presiones de trabajo han oscilado entre 14 y 25 bar. Se observa que el incremento de presión presenta una pendiente mucho más moderada que el incremento de conductividad.

2.1.2. Ahorro energético producido por la turbina recuperadora

En las siguientes gráficas se presentan los resultados de % de recuperación o ahorro energético (expresado en términos de dis-

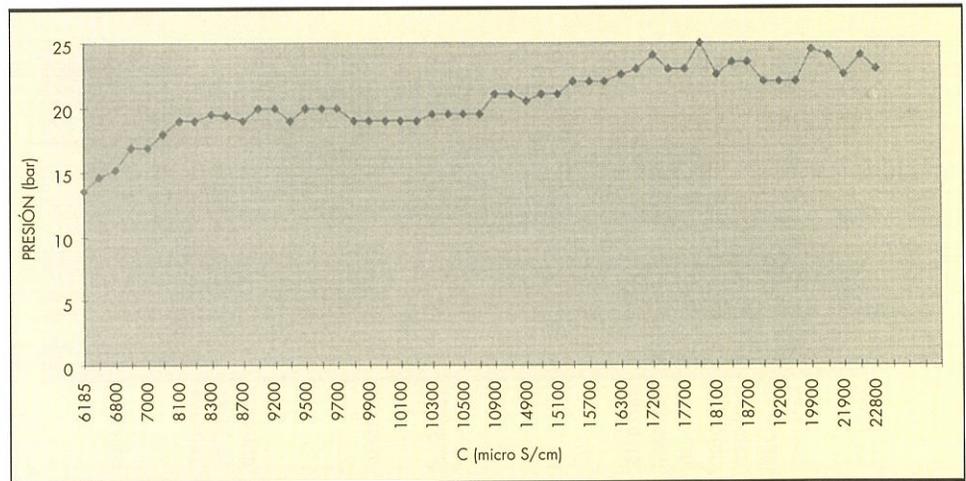


FIGURA 5. Presión de aporte en función de la conductividad de aporte.

minución de la presión de trabajo) de las turbinas instaladas en los cuatro trenes. Se ha representado la variación de dicha recuperación con el incremento de la presión de aporte y de la conductividad (ésta última para observar la tendencia, ya

que el rango de conductividades es mucho mayor que el intervalo de presiones de trabajo).

En las figuras 6 y 7, se muestran los resultados para el tren 1.

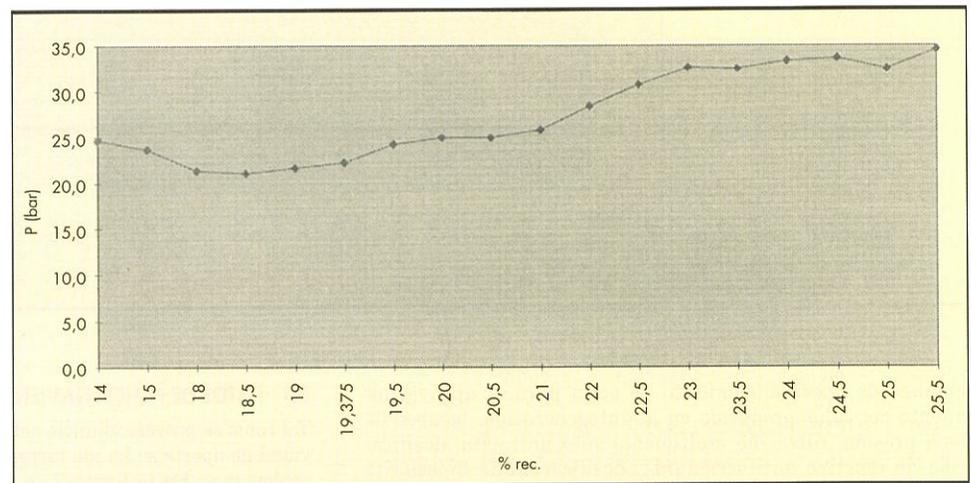


FIGURA 6. Variación del % de recuperación en función de la presión de aporte

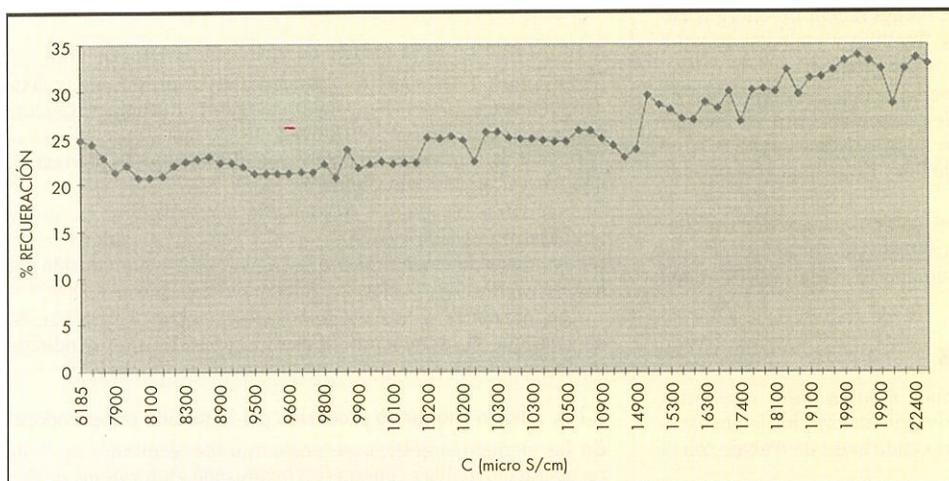


FIGURA 7. Variación del % de recuperación de la turbina en función de la conductividad de aporte.

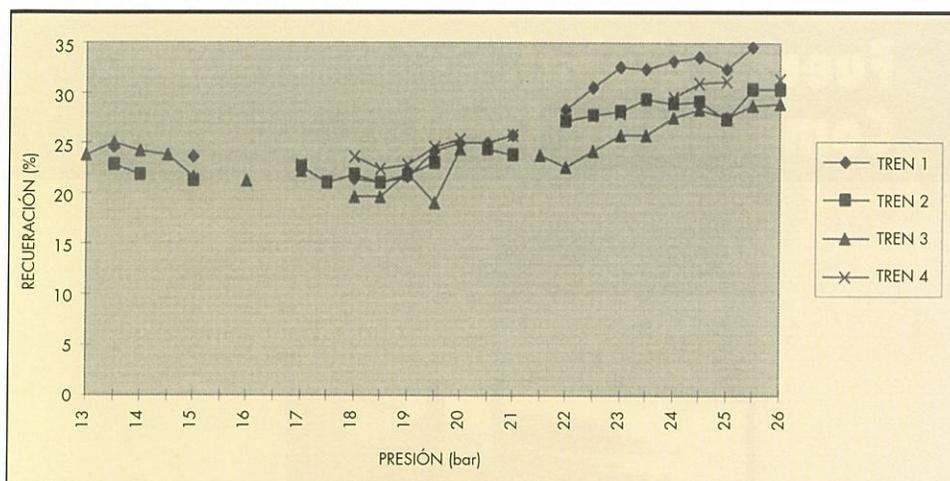


FIGURA 8. Variación de la recuperación energética con la presión de aporte.

En la figura 8, se comparan los resultados de los cuatro trenes, observando que los resultados obtenidos son muy similares.

Estas gráficas muestran, tal como cabría esperar, que la eficiencia de recuperación energética del TURBO se incrementa con el incremento de la presión de aporte.

El % de recuperación o ahorro energético ha oscilado en todos los trenes en valores entre el 20 y el 35 %, incrementándose con la presión de aporte.

2.2. OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA INSTALACIÓN

La planta desalinizadora de Mazarrón fue concebida para obtener un agua apta para riego con un coste de producción muy reducido. Las medidas fundamentales encaminadas a reducir este coste, siempre en la línea de reducir el consumo energético, fueron;

- Autogeneración: utilización alternativa de grupos electrógenos con la alimentación de la red, que permite la obtención de energía a un coste de 5 pts/Kwh, con un valor medio global de 6-7 pts/kwh (contando con la autogeneración y la alimentación de red).
- Recuperación de la energía residual del rechazo por medio de turbina entre etapas de ósmosis (favoreciendo además el equilibrio hidráulico entre etapas).
- Empleo de membranas de poliamida aromática de última generación en un diseño preparado específicamente para poder trabajar en condiciones muy variables.
- Empleo de bombas de alta presión monoetapa de alta velocidad con rendimientos superiores al 80 %. Además estas bombas fueron instaladas con un motor eléctrico sobredimensionado y dotadas de variador de frecuencia (para poder trabajar a distintas presiones).
- Informatización de todos los procesos de producción. Diálogo entre los PLC de pozos, líneas de ósmosis y autogeneración para la optimización del sistema.

2.3. COSTE GLOBAL DE LA ENERGÍA

Los consumos energéticos de la instalación son destacablemente reducidos, con valores en los primeros meses de explotación inferiores a 1 Kw-h/m³, incluido el bombeo de aporte o baja presión, que implica unos consumos de 0,2 Kw-h/m³.

En la actualidad el consumo específico alcanza valores próximos a 1,3 Kw-h/m³, con un incremento respecto al arranque de 0,4 Kw-h/m³.

Estos reducidos consumos, junto con el bajo coste del Kw-h, permiten la obtención de agua producto a un precio inferior a las 20 pts/m³, sin incluir la amortización de la instalación, que supone 8,7 pts/m³.

3. CONCLUSIONES

- Existen soluciones viables para la recuperación de energía residual de la salmuera para plantas de agua salobre, siempre que el caudal y presión de trabajo sean lo suficientemente elevados.
- Los ahorros energéticos producidos por las turbinas recuperadoras instaladas en la desaladora de Mazarrón han oscilado en valores del 20 al 35 %.
- La eficiencia de ahorro energético aumenta con el incremento de la presión de aporte.
- Estudios económicos realizados en la instalación de Mazarrón demuestran que la inversión de las turbinas se recupera con el ahorro energético de las mismas en un periodo inferior a 2 años.
- La instalación de una turbina recuperadora mejora el equilibrio hidráulico del sistema a dos etapas, ya que a salinidades elevadas se incrementa la diferencia relativa entre el caudal de permeado de la primera etapa de membranas y el de segunda etapa.