

# La planta de ósmosis inversa de Son Tugores (Palma de Mallorca). Una planta flexible y de alto rendimiento energético

MIGUEL ÁNGEL SANZ (\*)

**RESUMEN** El objetivo fundamental de esta planta desaladora es mejorar la calidad del agua potable de la turística ciudad de Palma de Mallorca, en las Islas Baleares, ya que alcanzaba valores muy elevados de salinidad. Esta planta, al mismo tiempo, reduciría la salinidad de las aguas residuales de cara a su reutilización en el riego agrícola, a la vez que se produciría un efecto de bañera a la intrusión marina como consecuencia de la infiltración, debida al riego, y por disminución de la explotación del acuífero.

El consumo diario de agua potable de Palma de Mallorca es de 85.000 a 120.000 m<sup>3</sup>, y, en el origen, la planta debía producir un mínimo de 20.000 m<sup>3</sup>/día, alimentándose de los pozos de Pont d'Inca que presentaban una salinidad variable, de 2 a 8 g/l.

Debido a la persistencia de la fuerte sequía, se decidió, en Junio de 1994 y con las obras iniciadas tres meses antes, el aprovechamiento de las aguas de los pozos de la zona de Na Burguesa, para con ello poder asegurar a Palma una mayor cantidad de agua.

El inconveniente era que la salinidad del agua mezcla de los diferentes pozos aumentaba notablemente, hasta los 10 g/l, y la ventaja que se incrementaba la producción de agua desalada hasta 30.000 m<sup>3</sup>/día (un 25% del consumo de la ciudad en la época punta de la temporada turística).

## REVERSE OSMOSIS PLANT OF SON TUGORES (PALMA DE MALLORCA). A FLEXIBLE PLANT WITH HIGH ENERGETIC PERFORMANCE

**ABSTRACT** *The fundamental goal of this desalination plant is to improve turistic town of Palma de Mallorca, in the Balearic islands, water quality, because it reached very high salinity values. This installation, at the same time, would reduce waste waters salinity to be reutilized in the future in agricola irrigation, at the same it would bring a bath-tube effect to the saline sea intrusion as a result of the infiltration, due to the irrigation, and the lowering of the aquiferous explotation.*

*The daily consumption of drinking water at Palma de Mallorca is 85,000 to 120,000 m<sup>3</sup>, and, at the beginning, the plant should produce a minimum of 20,000 m<sup>3</sup>/day, being fed by the wells at Pont d'Inca that show a variable salinity of 2 to 8 g/l.*

*Due to the strong draught persistence, it was decided, in June 1994 and with the works atarted three months ago, using the water of the Na Burguesa area wells, to assure Palma a bigger amount of water.*

*The disadvantage was that the salinity of the water resulting from the mix was considerably higher, 10 g/l, and the advantage that the desalted water production grewed to 30,000 m<sup>3</sup>/day (25% of the town consumption in highest touristic demand time).*

**Palabras clave:** Potable; Salinidad; Reutilización; Consumo; Pozos; Mezcla.

### 1. OBJETIVOS DE LA INSTALACIÓN

Una vez decidido que la planta debía tener una producción mínima de 20.000 m<sup>3</sup>/día, los objetivos de diseño de la instalación eran muy exigentes :

- Optimizar la producción al máximo posible.
- Minimizar el consumo energético.
- Adecuar la producción a la variabilidad del agua bruta (temperatura, salinidad y SDI).
- Máximo automatismo posible.
- Menor costo de explotación.

Además, el agua bruta no era fácil :

- Más de 20 pozos diferentes.
- Salinidad muy variable: de 2.000 a 10.000 mg/l.

- Temperatura de 16 a 23° C.

- SDI de 1 a 4.

- Iones complicados:

Ba <sup>++</sup>	=	0,050 - 0,140	mg/l
Sr <sup>++</sup>	=	1,3 - 7,5	mg/l
Ca <sup>++</sup>	=	140 - 2.800	mg/l
Ca <sup>+</sup>	=	500 - 2.800	mg/l
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	=	200 - 350	mg/l
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	=	200 - 1.000	mg/l
Cl <sup>-</sup>	=	1.000 - 5.000	mg/l

### 2. CRITERIOS DE DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN

El diseño de la planta se basó en mantener siempre en operación todas las membranas (a pesar de la dificultad debida al gran rango de operación), respetando siempre las "guide lines" del fabricante. Se trabajaría a presión, conversión y producción

(\*) Director de Proyecto . S.A.E Degrémont. Camino Ibarrekolanda, 6. 48015 Bilbao.

variables, de acuerdo con la salinidad (o conductividad) del agua bruta.

Las membranas seleccionadas para cumplir estos criterios fueron las FILMTEC BW-30-330. Hay que señalar que se descartaron todas las membranas de alto flujo, ya que no se adaptaban a trabajar en estas condiciones en todo el rango de operación impuesto.

Unas bombas de gran rendimiento y variadores de velocidad garantizaron el mínimo consumo eléctrico y la adaptación a las necesidades de operación.

La variabilidad se resolvió con un programa en el que se habían contemplado todas las posibilidades de operación.

Así, la instalación se diseñó con 6 líneas de 5.000 m<sup>3</sup> /día de producción mínima, con las características siguientes (ver tabla 1).

Salinidad alimentación	2.000	10.000	mg/l
Producción diaria	36.000	30.000	m <sup>3</sup> /día
Conversión	80	70	%
Caudal agua bruta	45.000	42.800	m <sup>3</sup> /día

TABLA 1.

Y las siguientes garantías:

- Salinidad del producto: ≤ 500 mg/l
- Calidad del producto: Potable, según la Reglamentación española (RD 1138/1990).
- Reposición de membranas: 10% máximo anual, 5 años.
- Consumo energético:
  - < 2,2 kW.h/m<sup>3</sup> - 10 g/l
  - < 1,85 kW.h/m<sup>3</sup> - 8 g/l
  - < 1,65 kW.h/m<sup>3</sup> - 6 g/l
  - < 1,45 kW.h/m<sup>3</sup> - 4 g/l
  - < 1,2 kW.h/m<sup>3</sup> - 2 g/l

La instalación es totalmente automática y consta principalmente de los siguientes equipos (Gráfico 1) :

- 1 Depósito de agua bruta.

- Dosificación de cloro.
- 9 Bombas de agua bruta.
- Dosificación de ácido sulfúrico.
- Dosificación de coagulante.
- 6 Filtros horizontales de arena.
- Dosificación de dispersante.
- Dosificación de bisulfito sódico.
- 6 Filtros de cartucho de 5 micras.
- 7 Bombas de alta presión con variador de velocidad.
- 6 Racks de O.I. con 35 + 14 PV de 7 elementos BW-30-330.
- 1 Equipo de lavado de membranas:
  - 1 Depósito con electroagitador.
  - 2 Bombas.
  - 1 Filtro de cartuchos de 5 micras.
- 2 Depósitos de equilibrio osmótico.
- 1 Depósito de desplazamiento.
- 1 Equipo de remineralización con cal:
  - 1 Silo.
  - 1 Depósito de lechada de cal.
  - 2 Bombas de membrana.
  - 1 Saturador de cal.
- Dosificación de cloro.
- 2 Depósitos de almacenamiento de 11.000 m<sup>3</sup> cada uno.
- Equipos eléctricos:
  - 2 Transformadores 20 kV/660 V - 20 kV/380 V.
  - CCM's 380 V.
  - 7 Variadores de velocidad 450 kW - 660 V.
- Equipos de control:
  - 1 Cuadro de Control con PLC - CPU redundante.
  - 2 Ordenadores. Software de control y adquisición y tratamiento de datos.
  - 1 Cuadro sinóptico.

### 3. CONTROL DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA

Los múltiples pozos que alimentan de agua bruta a la instalación son preseleccionados por el sistema de telemando, en función de su conductividad, entre otros datos.

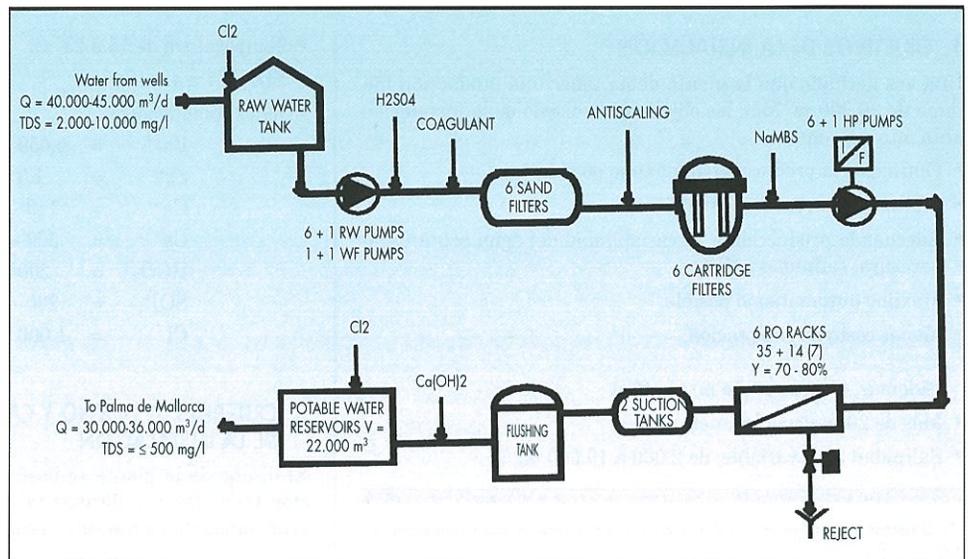


GRÁFICO 1. Son Tugores. BW ro plant.

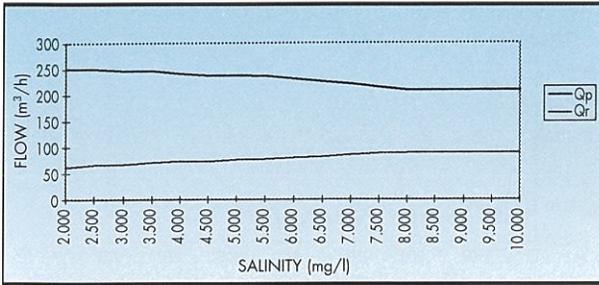


GRÁFICO 2. Product and reject flow vs raw water salinity.

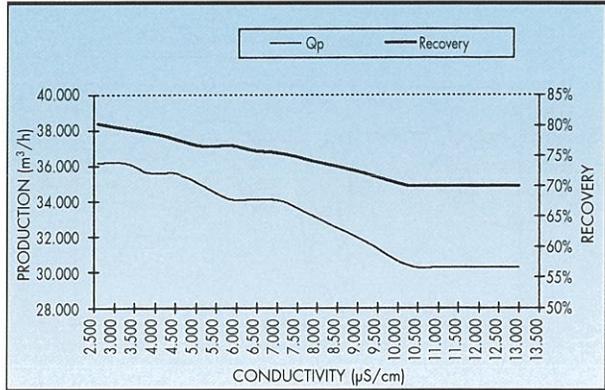


GRÁFICO 3. Production and recovery vs raw water conductivity.

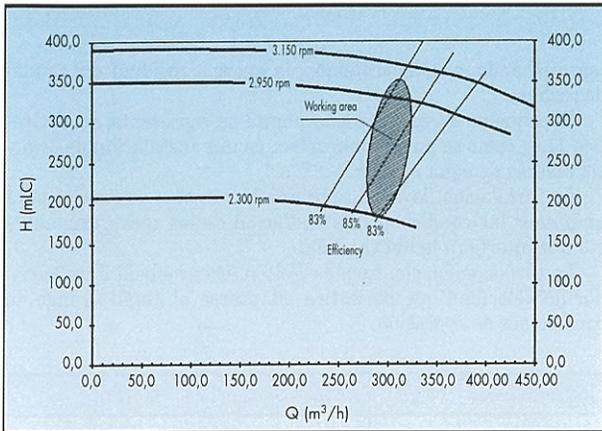


GRÁFICO 4. HP pump curves to several speeds.

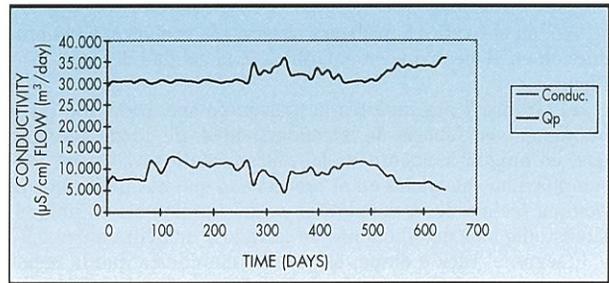


GRÁFICO 5. Water production vs feed water conductivity.

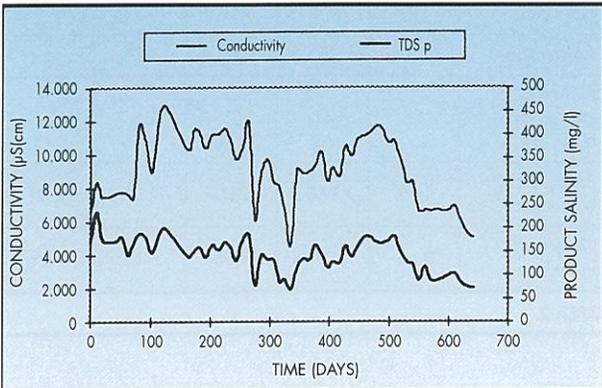


GRÁFICO 6. Product quality vs feed water conductivity.

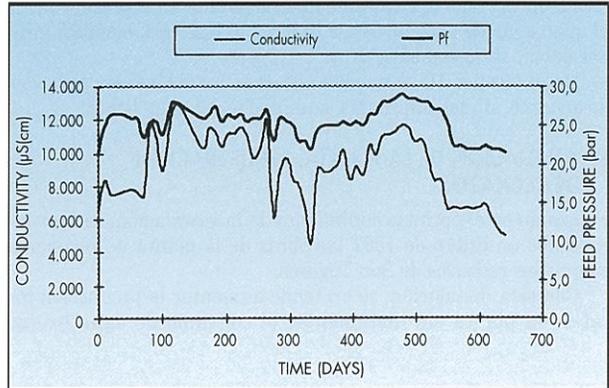


GRÁFICO 7. Feed pressure vs water conductivity.

La optimización del control de la producción de agua, así como su calidad, se obtiene en el conjunto del funcionamiento del grupo de alta presión y rack de ósmosis inversa.

El control principal es el conjunto de dos lazos: el primero regula la producción de cada rack a través de los variadores de velocidad de las bombas y el segundo el caudal de rechazo mediante una válvula de control.

El funcionamiento de estos lazos lo aseguran los medidores de caudal de producto y rechazo de cada rack y el conductímetro de agua bruta.

La señal de conductividad nos proporciona las consignas de operación (caudal de producto y rechazo) que dispone el programa y que aparecen en el Gráfico 2.

Con esto, quedan aseguradas la producción y conversión del Gráfico 3.

El conjunto de caudales, presiones y conversiones han sido diseñados para la producción máxima en cada momento, respetando la seguridad de operación con el menor consumo energético, ya que todos los puntos de operación se encuentran en la zona de mejor rendimiento de la bomba elegida (entre el 83 y el 85%), como se puede ver en el Gráfico 4.

#### 4. RESULTADOS DE OPERACIÓN

La instalación funciona desde Abril de 1995, después de 11 meses de construcción, y, desde entonces, todos los parámetros garantizados se han cumplido e incluso mejorado.

Presentamos aquí los resultados de operación de la instalación en forma de gráficos, siempre relacionados con la conductividad del agua bruta, ya que es el parámetro que desarrolla todas las consignas de operación.

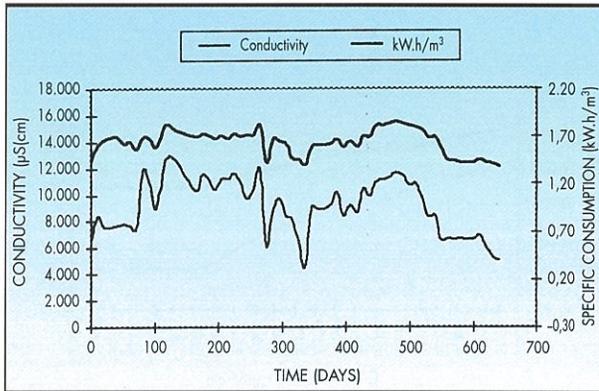


GRÁFICO 8. Energy consumption vs feed water conductivity.

Así, en el Gráfico 5, podemos observar la evolución de la producción en el tiempo y, en el Gráfico 6, la calidad del agua tratada.

El Gráfico 7 nos muestra la presión de operación a lo largo del tiempo, en función de la conductividad. Se puede observar que, en ningún momento, se han alcanzado los 34 bar de presión máxima calculados en el proyecto, lo que nos indica que el "fouling factor" de la membrana es muy próximo a la unidad. Un estudio más detallado nos ha llevado a una cifra entre 0,97 y 1, según el rack o etapa, lo que nos manifiesta que la membrana no ha sufrido apenas envejecimiento o atascamiento superficial en dos años de operación.

Como prueba de ello, se puede comprobar en el Gráfico 8 que los consumos energéticos están por debajo de los garantizados.

La eficacia del pretratamiento es evidente en el Gráfico 9, en el que se puede ver el SDI<sub>15</sub> a lo largo del tiempo, siempre muy por debajo de la unidad.

En el Gráfico 10 se pueden observar los costos de operación de acuerdo con las diferentes salinidades del agua bruta.

### 5. AMPLIACIÓN DE LA PLANTA. RECUPERACIÓN DE RECHAZOS

Pensando en el óptimo rendimiento de la instalación, se han comenzado en Enero de 1997 las obras de la planta de recuperación de los rechazos de Son Tugores.

Con esta instalación, se pretende aumentar la producción total de la planta sin incrementar el consumo de agua bruta,

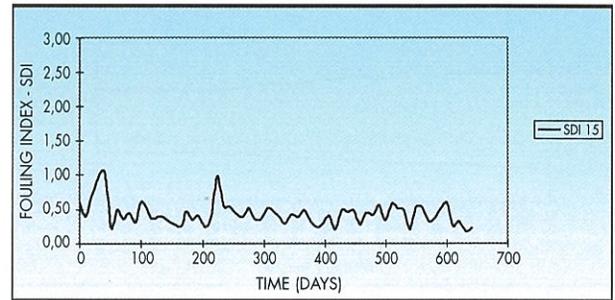


GRÁFICO 9. SDI vs time.

aprovechando, al mismo tiempo, la energía residual del caudal de rechazo.

El esquema básico de dicha planta se representa en el Gráfico 11, y, como se puede comprobar, es una instalación de ósmosis inversa de agua de mar.

La instalación lleva un conjunto de válvulas de control para mantener las condiciones de operación de los racks existentes sin que interfiera la nueva planta.

La turbobomba, con turbina Pelton, irá acoplada a un variador de velocidad que permitirá adaptarse al amplio rango de condiciones de operación.

TDS agua bruta	4 g/l	6 g/l	8 g/l	10 g/l	
TDS del agua de rechazo BW	17.800	23.000	26.200	32.800	
Caudal de producto	4.000	4.300	4.800	4.800	m <sup>3</sup> /día
Conversión	37	37	37	37	%
Presión operación a 18° C	37	47	55	64	bar
Potencia consumida	105	160	210	220	kW
Consumo específico	0,63	0,78	1,05	1,10	kWh/m <sup>3</sup>

TABLA 2.

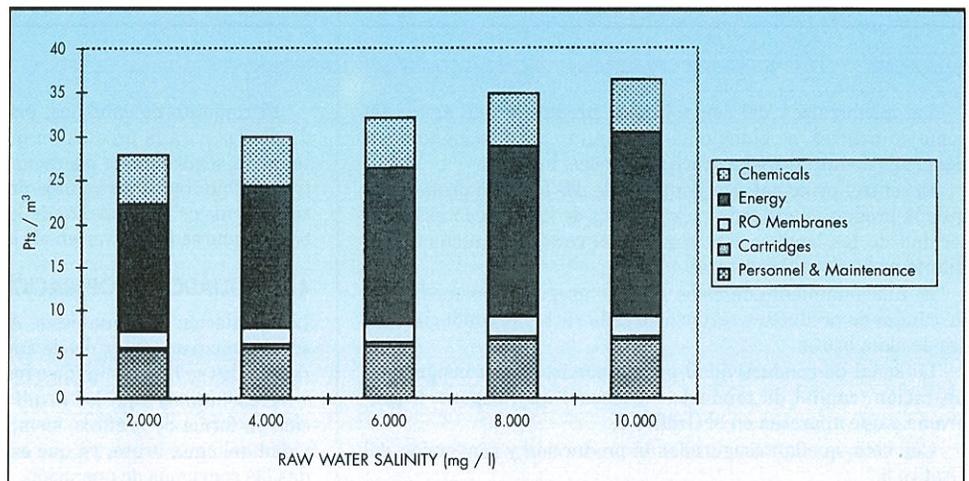


GRÁFICO 10. Operating costs.

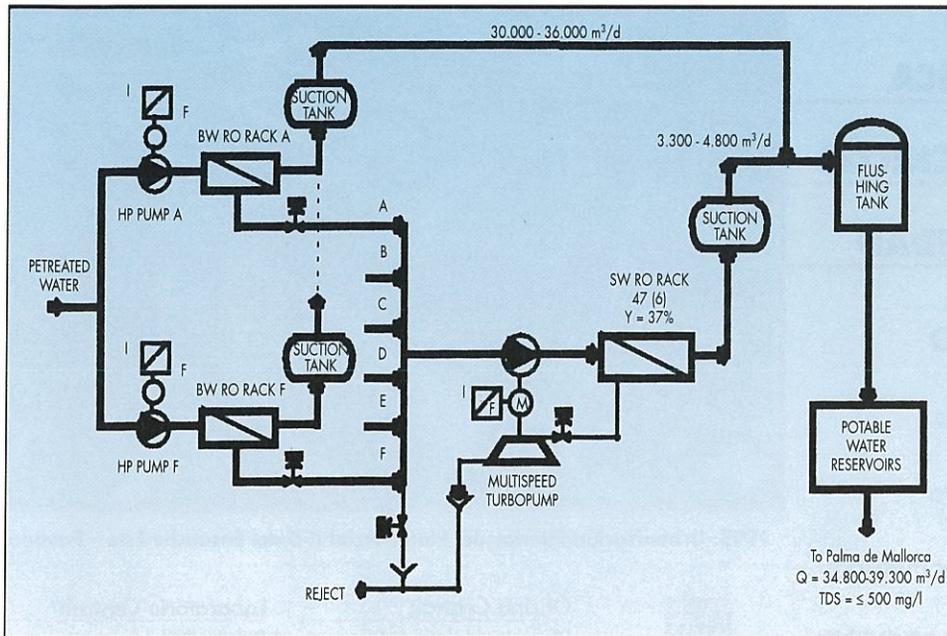


GRÁFICO 11. Son Tugores. BW + SW RO Plant. Rejection recovery.

TDS agua bruta	4 g/l	6 g/l	8 g/l	10 g/l	
Caudal agua bruta	45.000	44.500	42.800	42.800	m <sup>3</sup> /día
Caudal agua producto	39.000	37.300	34.800	34.800	m <sup>3</sup> /día
Conversión global	86,6	23,8	81,3	81,3	%
Potencia Total Máxima	2.220	2.410	2.520	2.950	kW
Consumo específico	1,37	1,55	1,74	2,03	kW.h/m <sup>3</sup>

TABLA 3.

El rack de O.I. constará de 47 PV de 6 elementos FILMTEC BW-30-HR-380, instalados en una sola etapa. Sobre el rack se

instalará un depósito de equilibrio osmótico, y el agua tratada se almacenará en los depósitos existentes.

Esta planta sólo entrará en producción cuando la salinidad del agua bruta sea superior a 4 g/l y cuando haya 4 o más racks de BW en operación.

El control del rack de rechazos se realizará a través del variador de velocidad y los inyectores de la turbina Pelton, manteniendo siempre una conversión constante del 37%.

Las características de la planta serían (ver tabla 2).

Con ambas instalaciones funcionando, los resultados globales esperados son (ver tabla 3).

## 6. CONCLUSIONES

Como se ha podido comprobar, la instalación de Son Tugores, junto con su ampliación, es una planta muy flexible que permite un gran rango de operación, manteniendo siempre el menor costo de explotación, dado el alto rendimiento que han demostrado su diseño y equipos, habiéndose conseguido todos los objetivos previstos en los dos años que lleva en operación.