



**ESTUDIO COMPARATIVO SOBRE
EL PASO DE BORO EN CUATRO
MODELOS DE MEMBRANAS DE
OSMOSIS INVERSA**

**LORENZO ROMERO VALBUENA
INFILCO ESPAÑOLA S.A.
IBIZA – NOVIEMBRE 2001**

INFILCO

1. ANTECEDENTES

Ante la inminente entrada en vigor del nuevo “**Real Decreto por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano**” y las limitaciones del contenido en boro en aguas utilizadas para el riego de hortalizas y frutales sobre todo, limitaciones ambas que cuantifican el contenido de este elemento en valores inferiores a 1 mg/l., INFILCO ESPAÑOLA S.A. se planteó investigar a cerca del paso de boro en membranas de ósmosis inversa alimentadas con agua de mar.

2. OBJETIVOS

El objeto de este estudio es determinar la eficiencia en la reducción del boro en la desalación de agua de mar por ósmosis inversa.

3. MATERIALES Y MEDIOS

Se construyó una unidad de ósmosis inversa para un tubo de presión de ocho (8”) pulgadas de diámetro y siete (7) elementos, provista de bomba de alta presión, tubo de presión, válvula de ajuste de caudal a la salida de la salmuera, medidores de caudal de permeado y rechazo, medidor de pH y conductividad en el agua de alimentación y permeado, manómetros en la entrada y salida de ósmosis y termómetro en el agua de alimentación; todo esto según el diagrama de flujos adjunto.

La bomba de alta presión elegida es de pistones (desplazamiento positivo) ya que permite regular mas fácilmente el punto de trabajo elegido tanto en caudal, mediante purga en el cabezal, como en presión, mediante la válvula de aguja situada a la salida del rechazo. Con esta válvula (la de purga en el cabezal y la salida de rechazo) ajustamos la conversión del sistema.

Las características de los componentes de la instalación son las siguientes:

Depósito tampón:

Material: PE

Capacidad: 1.000 l.

Bomba de alta presión:

Marca: CAT PUMPS

Modelo: 3541

Caudal: 10,26 m³/h

Presión: 70 bar

Material: Acero inoxidable y cerámica

Accesorios: Amortiguador de pulsaciones

Tubo de presión:

Fabricante: BEKAERT COMPOSITES

Modelo: OI-8040-7

Nº de Elementos: 7 Uds. de ocho (8”) pulgadas del tipo espiral

Presión de trabajo: 1.000 p.s.i.
Material: PRFV

Válvulas de control:
Fabricante: TECVAL
Modelo: CR-100
D.N.: 25 - 15
P.N.: 100
Tipo: Aguja
Material: AISI-904 L

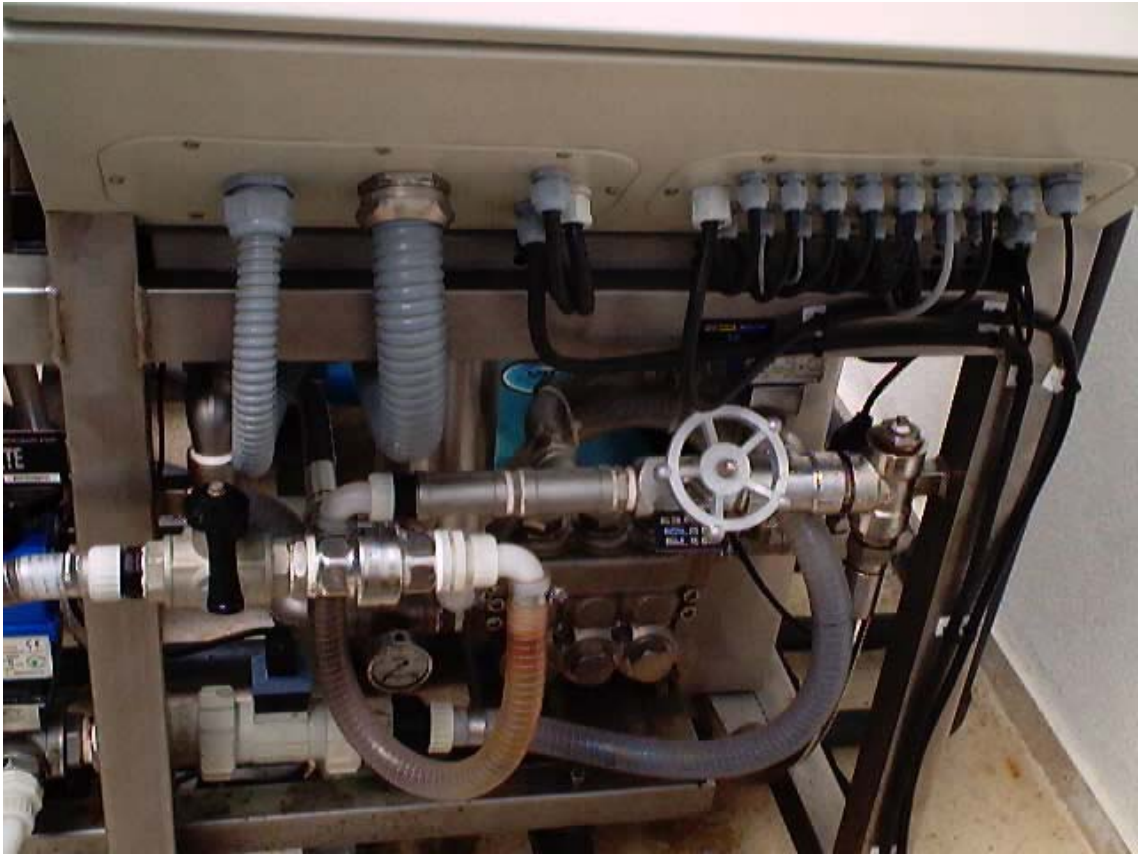
Medidores de Caudal de permeado y salmuera:
Marca: BURKERT
Modelos: 8025 y 8030
DN.: 25 y 30
PN.: 10
Material: PP
Rango de medida: 0,1 a 10 m/s
Error: menor del 1%

Transmisores de presión:
Marca: WIKA
Modelo: ECO-TRONIC
Rango: 0 ... 100 bar
Error: menor de 0,1 %
Material: Acero inoxidable

Transmisores de pH:
Marca: HANNA
Modelo: H 1981411
Rango: 0 ... 14
Error: menor 1%

Transmisores de conductividad:
Marca: HANNA
Modelo: HI 943500 y HI 983313
Rango: 0 ... 1999 mmS/cm y 0 ... 100 mS/cm
Error: inferior al 0,1 %

Mediante los medidores de conductividad situados en alimentación y salida de permeado se calcula el paso de sales de forma matemática, sin necesidad de una campaña analítica en laboratorio. A partir de las mediciones de caudal se obtiene el grado de conversión.





4. DATOS DE PARTIDA

A pesar de que el boro (B) no se encuentra en grandes concentraciones en agua de mar (de 4938 a 5200 mg/l.), su escaso peso atómico (10,811) y al no estar altamente cargado (número atómico 5) hace que su permeabilidad en los sistemas de ósmosis inversa sea muy alta.

Para todas las pruebas se parte de agua del Mar Mediterráneo en la costa de Ibiza, concretamente de la E.D.A.M. de San Antonio – Ibiza.

La captación de agua de mar se realiza a través de pozos costeros de 50 m. de profundidad, extrayéndose el agua a unos 20 m. por debajo del nivel dinámico de los mismos.

El análisis medio de esta agua de mar es el siguiente:

Temperatura	20 ... 22	°C
S.T.D.	38.228	mg/l
S.D.I.	0,25	
Turbiedad	0,30	NTU
pH	7,4 ... 7,6	
Cloruros	21.340	mg/l
Bicarbonatos	146	mg/l
Sulfatos	2.772	mg/l
Flúor	0,9	mg/l
SiO ₂	1,8	mg/l
Calcio	426	mg/l
Sodio	11.700	mg/l
Magnesio	1.445	mg/l
Potasio	398	mg/l
Boro	5,2	mg/l

El agua de mar con la que se hicieron las pruebas se sometió previamente a un pretratamiento consistente en una filtración sobre lecho de arena, microfiltración sobre filtros de bujías de 5 micras y ajuste de pH a 6,9 mediante ácido sulfúrico.

5. MEMBRANAS UTILIZADAS EN EL ENSAYO

Para la realización del ensayo se utilizaron dos modelos de membranas FILMTEC (SW30HR8040 y SW30HR380) y dos modelos de membranas HYDRANAUTICS (SWC 3 y SWC 3 – S), fijándose la presión de trabajo inicial en 60 bar.

Todos los modelos probados fueron membranas de configuración espiral y de poliamida.

6. RESULTADOS Y DISCUSION DE LOS MISMOS

6.1. CONFIGURACIÓN DE PARAMETROS DE OPERACIÓN

En todos los tests se parte de agua de mar pretratada y ajustada a pH 6,9 procedente de la propia E.D.A.M. de San Antonio, a una temperatura variable a lo largo del día de entre 19,9 y 20,3 ° C., y un S.D.I. de entre 0,2 y 0,25.

La configuración hidráulica propuesta para todos los modelos es la siguiente:

Caudal de alimentación (m ³ /h)	6,2
Caudal de permeado (m ³ /h)	2,8
Conversión (%)	45
Flujo (l/h/m ²)	11,4
Presión de alimentación (bar)	60

6.2. REGISTRO DE DATOS

La toma de datos de control que se realizó para las pruebas fue la de la siguiente tabla:

PARAMETRO	UNIDADES	SITUACIÓN	PERIODICIDAD
Q Permeado	m ³ /h	PROBADOR	HORARIA
Q Salmuera	m ³ /h	PROBADOR	HORARIA
Q Alimentado	m ³ /h	CALCULADO	HORARIA
Conversión	%	CALCULADO	HORARIA
P. Alimentación	bar	PROBADOR	HORARIA
P. Salmuera	bar	PROBADOR	HORARIA
Perdida de carga	bar	CALCULADO	HORARIA
T. Alimentación	° C	PROBADOR	HORARIA
pH Alimentación		PROBADOR	HORARIA
Conductividad Alimentación	mS/cm	PROBADOR	HORARIA
pH Permeado		PROBADOR	HORARIA
Conductividad Permeado	mS/cm	PROBADOR	HORARIA
pH Salmuera		LABORATORIO	CADA 8 HORAS
Conductividad Salmuera	mS/cm	LABORATORIO	CADA 8 HORAS
Paso de Sales	%	CALCULADO	HORARIA

Los ensayos de comprobación de eliminación de boro, para los cuatro tipos de membranas, se realizaron una vez que la conductividad del permeado se estabilizó. Este hecho sucedió a partir del noveno día de funcionamiento.

A partir del noveno día de trabajo con cada una de las membranas se procedió a la toma de tres muestras de permeado de un litro, extraídas cada ocho horas. Estas muestras fueron analizadas en el laboratorio de LABAQUA de Alicante mediante el método ICP con diluciones al 25 %.

7. RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados obtenidos de las pruebas se han representado en tres figuras. La figura 1 compara la evolución de la conductividad del permeado con cada tipo de membranas a lo largo de los ensayos.

Evolución Paso de Sales Normalizado (Temperatura a 25°C)

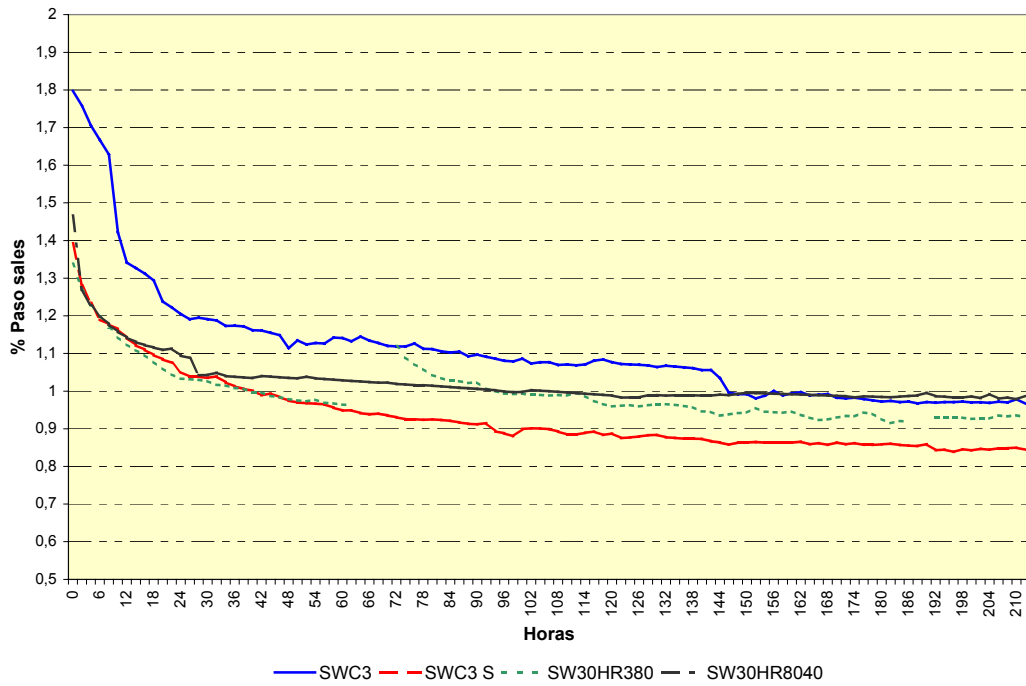


Figura 1

La figura 2 compara la evolución del paso de sales normalizado a 25°C del permeado en cada tipo de membranas a lo largo de los ensayos.

Evolución Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C)

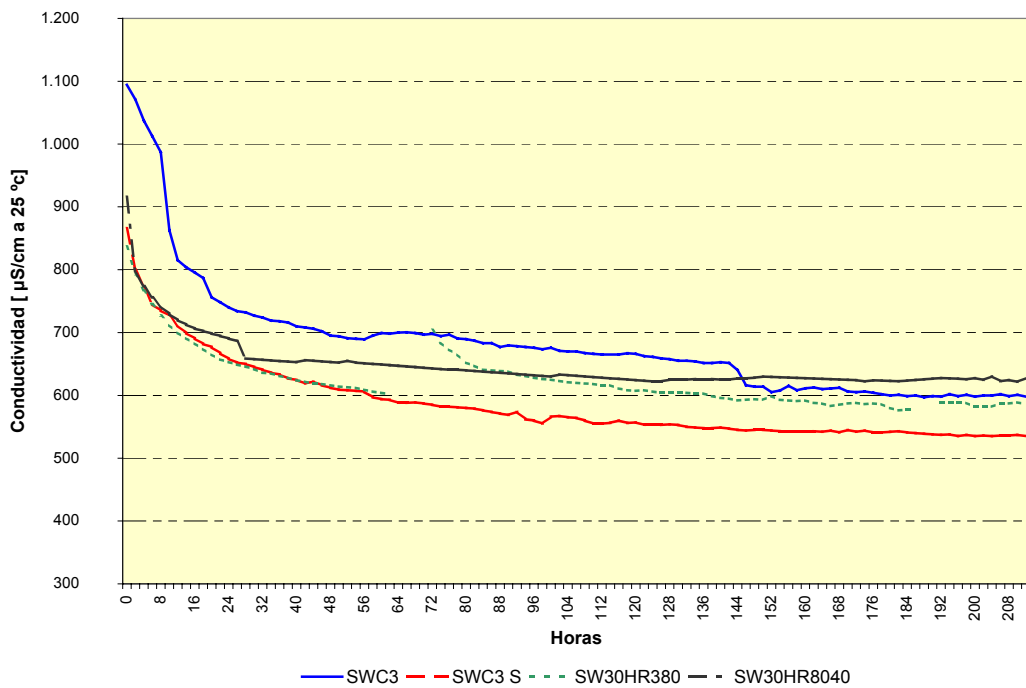


Figura 2

La figura 3 compara el paso de BORO entre los diferentes modelos de membranas ensayadas.

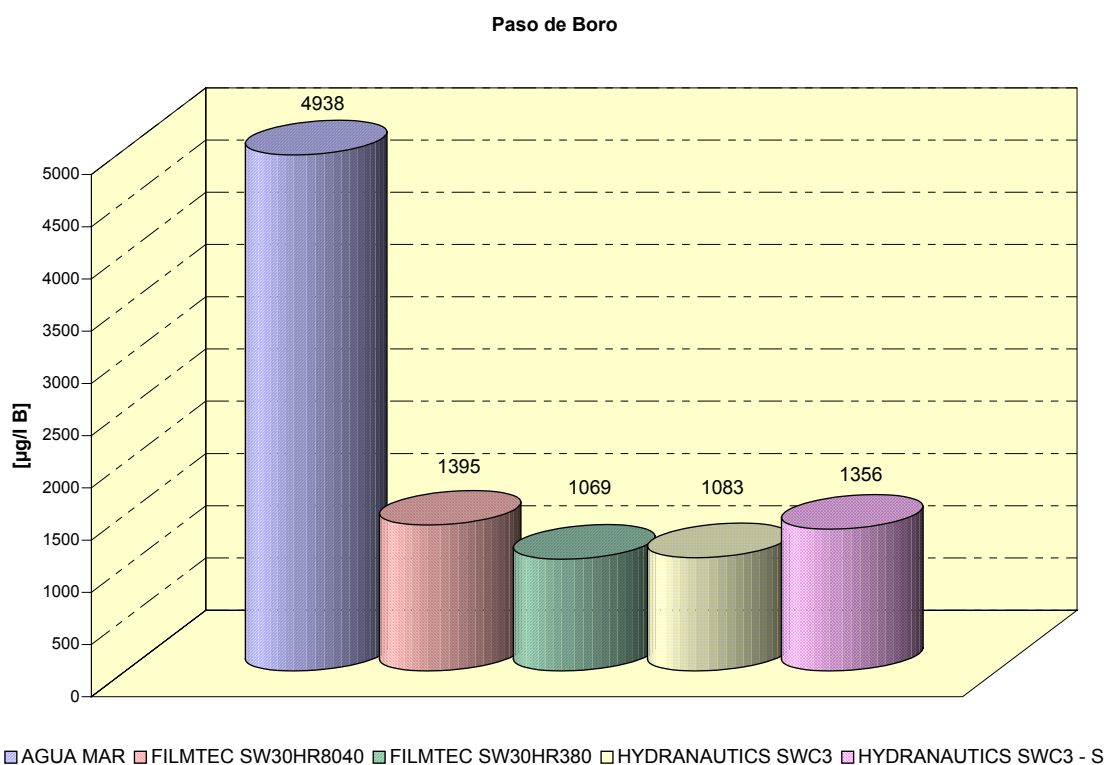


Figura 3

En la tabla siguiente se indican los valores medios obtenidos durante el ensayo:

REALIZADOS POR		INFILCO Y LABAQUA				
PARAMETRO BORO						
	METODO	MUESTRA	RESULTADO			UNIDAD
	ICP PE-D/025	AGUA MAR	4938	±	10%	µg/l B
		FILMTEC SW30HR8040	1395	±	10%	µg/l B
		FILMTEC SW30HR380	1069	±	10%	µg/l B
		HYDRANAUTICS SWC3	1083	±	10%	µg/l B
		HYDRANAUTICS SWC3 - S	1356	±	10%	µg/l B

8. CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados obtenidos se desprenden las siguientes conclusiones:

1.- En las condiciones de operación ensayadas hasta la fecha ninguna de las membranas probadas consigue en un solo paso llegar a la concentración de Boro exigida por el futuro Real Decreto comentado en los antecedentes.

2.- Los valores obtenidos están próximos a los exigidos de manera que se va a seguir ensayando en otras condiciones de trabajo (presión y grado de conversión) con el fin de optimizar el rendimiento de las membranas en cuanto a la eliminación del boro se refiere.

3.- Como curiosidad a añadir, se ha detectado que la membrana de HIDRANAUTICS SWC3 consigue mejores rendimientos de eliminación de boro que la membrana SWC3-S a pesar de que el paso global de sales es superior.

4.- A la vista de los resultados obtenidos es necesaria la realización de nuevos ensayos con diferentes membranas y condiciones de operación para poder extraer conclusiones definitivas al respecto.