



CAPÍTULO 3

MEMBRANAS COMERCIALMENTE DISPONIBLES

Proyecto Fin de Carrera: Análisis comparativo de permeadores en plantas de desalación de agua de mar por Ósmosis Inversa : Recomendaciones sobre selección de diseños

Alumna: Mari Cruz González Pérez
Tutora: Dra. Lourdes García Rodríguez

ÍNDICE DE MATERIAS

ÍNDICE DE MATERIAS.....	51
ÍNDICE DE FIGURAS.....	53
ÍNDICE DE TABLAS.....	55
3.0 PRESENTACIÓN.....	57
3.1 PÁGINAS WEB DE LAS CASAS DE MEMBRANAS.....	57
3.2 MODELOS Y CARACTERÍSTICAS DE MEMBRANAS.....	61
3.3 DISEÑOS DE LOS PERMEADORES Y LIMITACIONES TÉCNICAS.....	64
3.4 SOFTWARES DE LAS CASAS DE MEMBRANAS.....	67
3.5 REFERENCIAS.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	Página web de Filmtec.....	57
Figura 3.2	Catálogo de membranas de Filmtec.....	58
Figura 3.3	Principales características del modelo SW30HRLE-400i de Filmtec.....	59
Figura 3.4	Especificaciones técnicas del modelo SW30HRLE-400i de Filmtec.....	59
Figura 3.5	Catálogo de membranas de Hydranautics.....	60
Figura 3.6	Catálogo de membranas de Toray.....	60
Figura 3.7	Esquema del modelo SWC5 1640 de Hydranautics.....	64
Figura 3.8	Primera pestaña del software ROSA.....	68
Figura 3.9	Segunda pestaña del software ROSA.....	68
Figura 3.10	Tercera pestaña del software ROSA.....	69
Figura 3.11	Cuarta pestaña del software ROSA.....	69
Figura 3.12	Sexta pestaña del software ROSA.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Modelos y especificaciones técnicas de membranas.....	61
Tabla 3.2 Modelos y especificaciones técnicas de membranas de 16 pulgadas.....	63

3.0 PRESENTACIÓN

En este capítulo nos proponemos desglosar la información que muestran los fabricantes de membranas acerca de sus productos, para ello vamos a estudiar las membranas de los tres principales casas de membranas, ellos son: Filmtec, Hydranautics y Toray.

3.1 PÁGINAS WEB DE LAS CASAS DE MEMBRANAS

Cada una de estas casas tiene su propia página web donde pueden consultarse tanto las actividades que les compete como los productos que fabrican. Estas marcas, además de hacer membranas para desalación de agua de mar tienen membranas para otros procesos como la industria farmacéutica y la alimenticia. A continuación mostramos la página web de Filmtec donde puede verse esto:

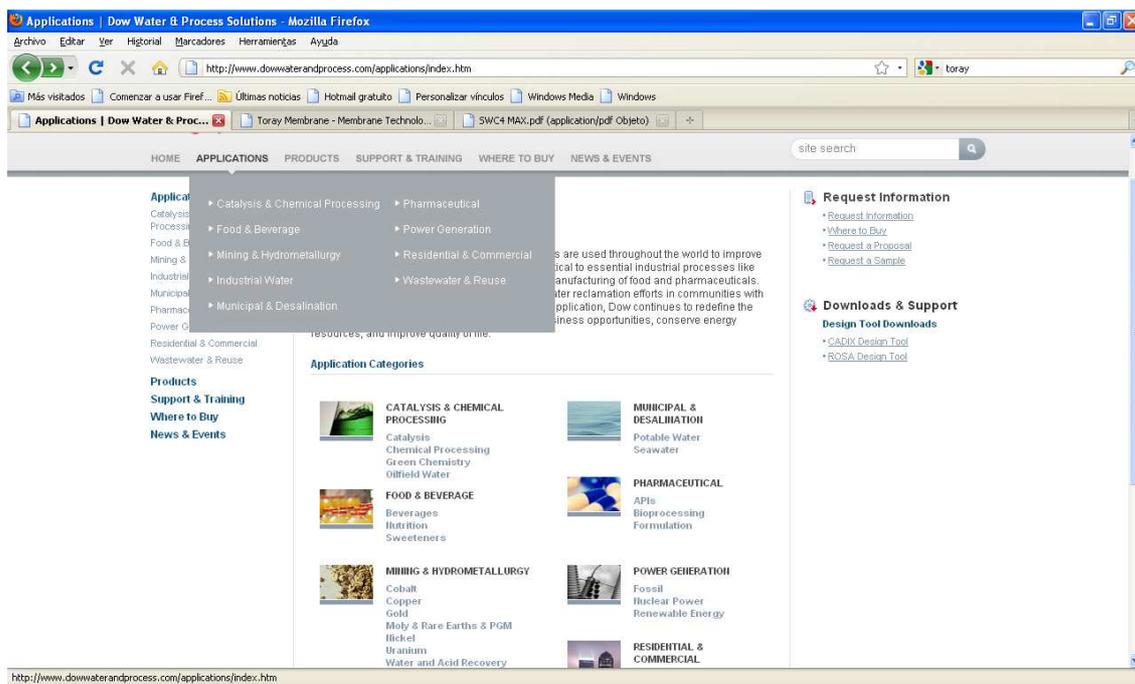


Figura 3.1 Página web de Filmtec [1]

Para cada una de estas actividades, existen membranas específicas. Si nos adentramos en las membranas especiales para desalación de agua de mar, que son las que nos ocupan, las marcas ofrecen una amplia variedad dependiendo principalmente de la presión de operación, del rechazo de sales, del caudal de permeado que proporcionan y del área activa de la membrana:

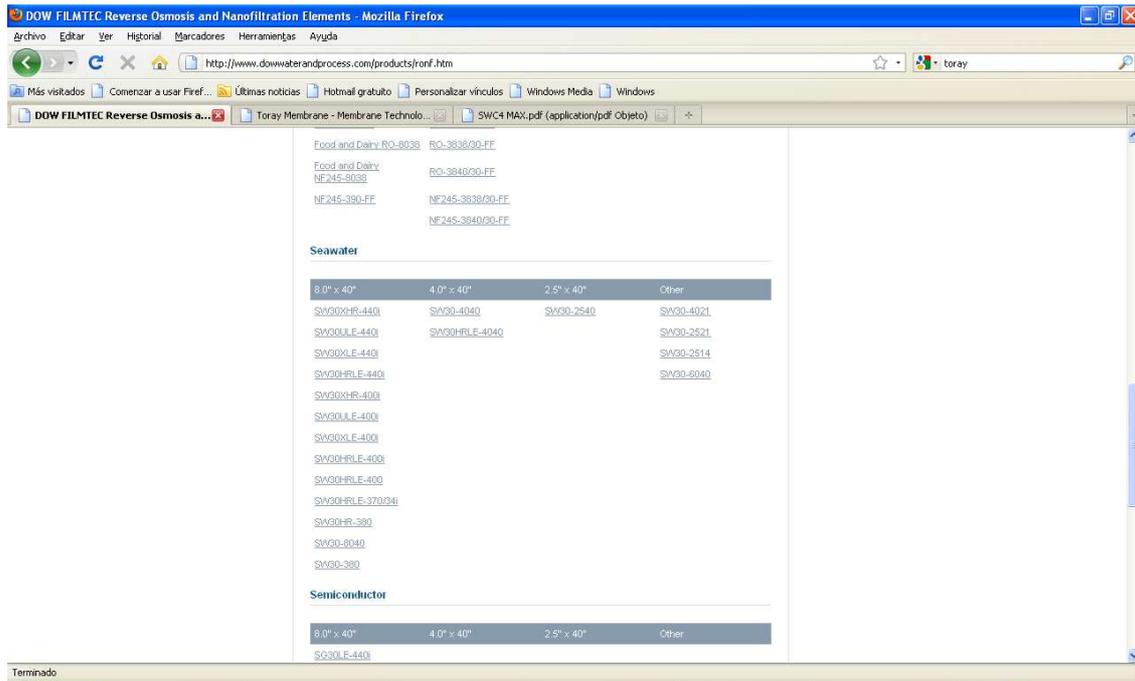


Figura 3.2 Catálogo de membranas de Filmtec [1]

Si vemos algún modelo en concreto, podemos consultar sus principales parámetros de operación. Por ejemplo el modelo de Filmtec SW30HRLE-400i.

DOW FILMTEC SW30HRLE-400i

DOW™ FILMTEC™ SW30HRLE-400i offers very high productivity and rejection, enabling the lowest total cost of water for seawater desalination. DOW FILMTEC™ SW30HRLE-400i comes with the unique I/LEC™ Interlocking Endcaps that reduce system operating costs and reduce the risk of o-ring leaks that cause poor water quality. See Form No. 609-0044B (396KB PDF) for information on the trouble-free cost-saving benefits of I/LEC Interlocking Endcaps. Benefits of SW30HRLE-400i include:

- Enables systems to be designed and operated to optimize operating cost through lower energy consumption or to optimize capital cost through higher productivity at lower operating fluxes.
- High NaCl and boron rejection to help meet World Health Organization (WHO) and other drinking water standards.
- Can effectively be used in permeate staged seawater desalination systems without impairing the performance of the downstream stage.
- High performance over the operating lifetime without the use of oxidative post-treatments like many competitive products. This is one reason DOW FILMTEC elements are more durable and may be cleaned more effectively over a wider pH range (1-13) than other RO elements.

Automated, precision fabrication with a greater number of shorter membrane leaves reduces the effect of overall fouling and maximizes element efficiency, lowering cost of operation.

Nominal Active Surface Area ft ² (m ²)	Permeate Flow Rate gpd (m ³ /d)	Stabilized Salt Rejection (%)	Stabilized Boron Rejection (%)
400 (37)	7,500 (28)	99.75	91

1. The above values are normalized to the following test conditions: 32,000 ppm NaCl, 5 ppm Bore, 300 psi (2.07 MPa), 77°F (25°C), pH 8 and 8% recovery.
 2. Permeate flow for individual elements may vary +/-15%.
 3. Salt specifications may vary as design revisions take place.
 4. Active area guaranteed +/-0%. Active area as stated by Dow is not comparable to nominal membrane area often stated by some manufacturers. Measurement method described in Form No.

Figura 3.3 Principales características del modelo SW30HRLE-400i de Filmtec [1]

Estas especificaciones se pueden descargar y verlas con más detalle:

Product Specifications

Product	Part number	Active area ft ² (m ²)	Maximum operating pressure psig (bar)	Permeate flow rate gpd (m ³ /d)	Stabilized boron rejection %	Minimum salt rejection %	Stabilized salt rejection %
SW30HR-LE-400i	246312	400 (37)	1,200 (83)	7,500 (28)	92	99.85	99.80

1. The above values are normalized to the following conditions: 32,000 ppm NaCl, 5 ppm Bore, 300 psi (2.07 MPa), 77°F (25°C), pH 8, 8% recovery.
 2. Permeate flow for individual elements may vary +/-15%.
 3. Product specifications may vary slightly as improvements are implemented.
 4. Active area guaranteed +/-0%. Active area as stated by Dow Water & Process Solutions is not comparable to the nominal membrane area figure often stated by some element suppliers. Measurement method described in Form No. 609-0044B.

Figure 1

Product	Dimensions - inches (mm)				
	Feed spacer (mil)	A	B	C	D
SW30HR-LE-400i	28	40 (1.016)	40.5 (1.029)	7.9 (201)	1.125 (29)

1. Refer to FilmTec Corporation Design Guidelines for multiple-element systems.
 2. Elements fit optional length (225 mm) U₂ prepolished vessel.
 3. Individual I/LEC elements measure 40.5 inches (1.029 mm) in length (B). The net length (A) of I/LEC elements when connected is 40 inches (1.016 mm).
 Page 1 of 2 ** Trademark of The Dow Chemical Company ("Dow") or an affiliate company of Dow Form No. 609-0047-1109

Operating Limits

- Membrane Type: Polyamide Thin-Film Composite
- Maximum Operating Temperature*: 113°F (45°C)
- Maximum Element Pressure Drop: 15 psig (1.0 bar)
- pH Range, Continuous Operation: 2 - 11
- pH Range, Short-Term Cleaning (30 min.): 1 - 13
- Maximum Feed Silt Density Index (SDI): SDI 5
- Free Chlorine Tolerance†: <0.1 ppm
- Maximum temperature for continuous operation above pH 10 is 93°F (35°C).
- * Refer to Cleaning Guidelines in Form No. 609-2010.
- † Under certain conditions, the presence of free chlorine and other oxidizing agents will cause premature membrane failure. Since oxidation damage is not covered under warranty, FilmTec Corporation recommends removing residual free chlorine by pretreatment prior to membrane exposure. Please refer to technical bulletin 609-2010 for more information.

Important Information

Proper start-up of reverse osmosis water treatment systems is essential to prepare the membranes for operating service and to prevent membrane damage due to overfeeding or hydraulic shock. Following the proper start-up sequence also helps ensure that system operating parameters conform to design specifications so that system water quality and

Figura 3.4 Especificaciones técnicas del modelo SW30HRLE-400i de Filmtec [1]

Esto mismo lo ofrece también Hydranautics:

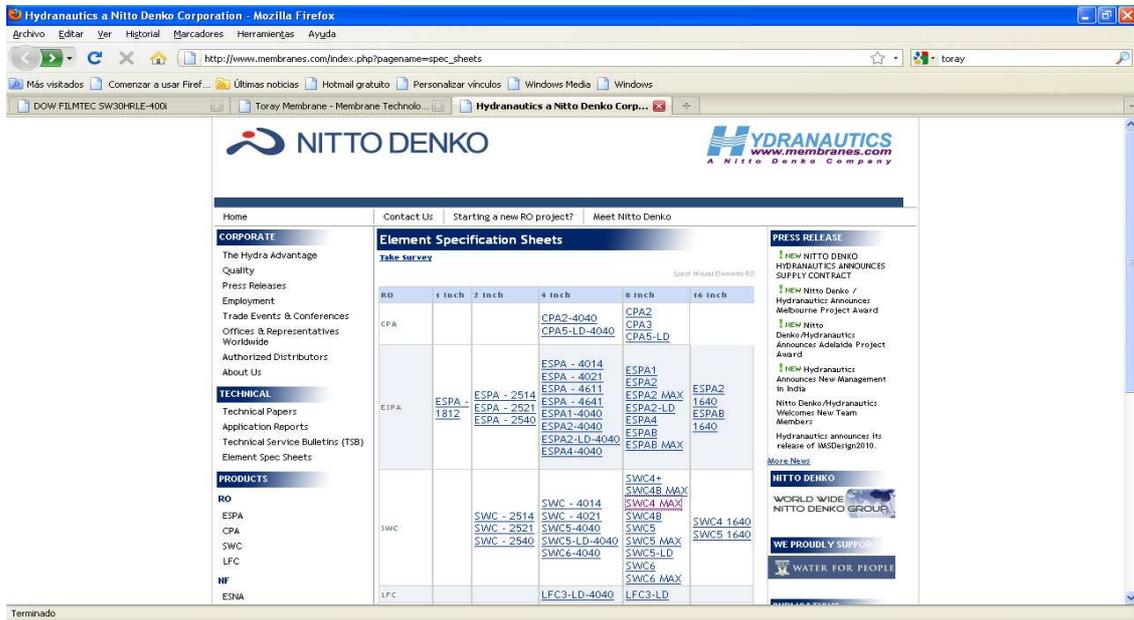


Figura 3.5 Catálogo de membranas de Hydranautics [3]

Y también Toray:

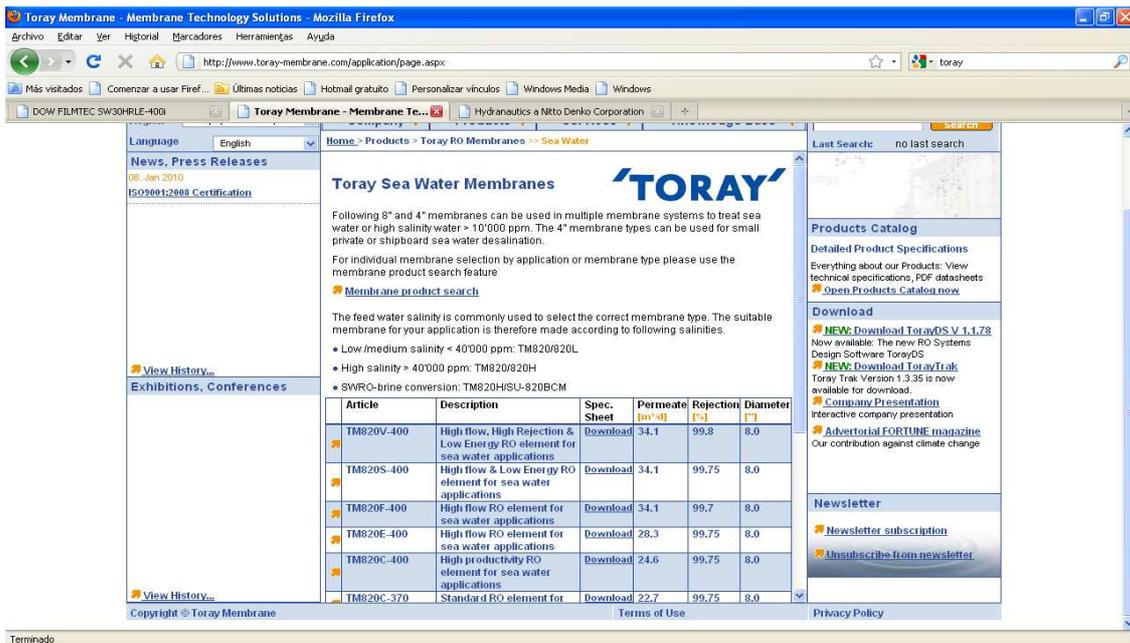


Figura 3.6 Catálogo de membranas de Toray [6]

3.2 MODELOS Y CARACTERÍSTICAS DE MEMBRANAS

Hemos elaborado unas tablas con las principales especificaciones técnicas de las membranas que ofrecen las tres marcas: el área de la membrana, el flujo de permeado que pueden llegar a producir, la máxima presión de trabajo con la que pueden operar y el rechazo de sales.

FABRICANTES/CARACTERÍSTICAS	Tipo de membrana	Flujo de Permeado gpd (m ³ /d)	Área ft ² (m ²)	Max. Presión (bar)	Rechazo de Sales % (mínimo)
FILMTEC					
Membranas con alto Rechazo de Sales	SW30HR-380	6,000 (23)	380 (35)	69	99.70 (99.60)
	SW30HRLE-400i ^(*)	7,500 (28)	400 (37)	83	99.75
	SW30HRLE-400	7,500 (28)	400 (37)	83	99.75 (99.60)
	SW30HR-370/34i ^(*)	6,300 (24)	370 (34)	83	99.75 (99.60)
	SW30XHR-440i	6,600 (25)	440 (41)	83	99.82 (99.70)
	SW30HRLE-440i	8,200 (31)	440 (41)	83	99.80 (99.65)
	SW30HRLE-370/34i	6,700 (25)	370 (34)	83	99.80 (99.65)
Membranas de baja energía y alto flujo	SW30XLE-400i ^(*)	9,000 (34)	400 (37)	83	99.70 (99.60)
	SW30ULE-400i ^(*)	11,000 (41.6)	400 (37)	83	99.70 (99.60)
	SW30XLE-440i	9,900 (37.5)	440 (41)	83	99.75 (99.60)
	SW30ULE-440i	12,000 (45.4)	440 (41)	83	99.70 (99.60)
HYDRANAUTICS					
Membranas con alto Rechazo de Sales	SWC3+	7,000 (26.5)	400 (37.2)	82.7	99.80 (99.70)
	SWC4+	6,500 (24.6)	400 (37.2)	82.7	99.80 (99.70)
	SWC4+Max	7,200 (27.3)	400 (37.2)	82.7	99.80 (99.70)
	SWC4B Max	7,200 (27.3)	440 (41)	82.7	99.80 (99.70)
	SWC4 Max	7,200 (27.3)	440 (41)	82.7	99.80 (99.70)
Membranas con alto Rechazo de Sales, baja energía y alto flujo	SWC5	9,000 (34.1)	400 (37.2)	82.7	99.80 (99.70)
Membranas con extra alto rechazo de sales, Baja energía y alto flujo	SWC5+Max	9,900 (37.6)	440 (40.9)	82.7	99.80 (99.70)
Membranas con alto rechazo de sales, Extra baja energía y alto flujo	SWC6	12,000 (45.5)	400 (37.2)	82.7	99.80 (99.70)

	SWC6 Max	13,200 (50)	440 (41)	82.7	99.80 (99.70)
TORAY					
Membranas con alto Rechazo de Boro	TM820C-370	6,000 (22.7)	370 (34)	83	99.75 (99.50)
Membranas con flujo y alto rechazo de Boro	TM820C-400	6,500 (24.6)	400 (37)	83	99.75 (99.50)
Membranas con alto flujo	TM820E-400	7,500 (28.3)	400 (37)	84	99.75 (99.50)
Membranas de baja energía y alto flujo	TM820F-400	9,000 (34.1)	400 (37)	69	99.70 (99.40)
Membranas para alta salinidad (tratamiento de agua de mar)	SU-820BCM	4,200 (16)	370 (29)	93	99.70 (99.40)
	SU-820L	5500 (21)	312	41	99.70 (99.50)
Membranas con alto flujo, alto rechazo y baja energía	TM820V-400	9,000 (34.1)	400 (37)	83	99.80 (99.50)

Tabla 3.1 Modelos y especificaciones técnicas de membranas [1, 3, 6]

En general todas las casas trabajan con parámetros similares; a modo de ejemplo podemos ver como las máximas presiones de trabajo suelen estar en torno a 83 bar, los rechazos máximos en torno al 99,70% y el mínimo en torno al 99,60%. Se está trabajando, por razones económicas, en poder operar con presiones más bajas, pero que ello no suponga caudales de productos más bajos, es decir, se está buscando, y en eso se está investigando y avanzado, en fabricar membranas que trabajen con presiones menores y ofrezcan un caudal de permeado y un rechazo de sales mayores. Esto se evidencia en el modelo SW30HRLE-440i, un nuevo modelo de Filmtec que ofrece un caudal de 31 m³/d, caudal muy superior a los de los modelos anteriores semejantes a él, y que además presenta un mayor rechazo de sales 99,8%.

En el fabricante Toray resulta interesante también destacar el nuevo modelo TM820V-400, el cual combina un incremento considerable en su caudal de permeado producido con un incremento en el rechazo de sales, evidenciándose de nuevo las actuales líneas de desarrollo e investigación de los fabricantes de membranas.

Otro aspecto interesante a destacar es que, en general, un área de membrana mayor, supone un mayor caudal de permeado; en el modelo de Toray TM820C-370 el área es de 34 m² y su caudal de permeado de 22.7 m³/d, mientras que el modelo TM820C-400, tiene un área mayor, de 37 m² y su caudal de permeado es también superior al otro modelo, 24.6 m³/d. Sería pues

interesante, un estudio económico de si conviene hacer un coste de inversión superior con membranas de mayor área pero que aumenten el producto y por tanto las ganancias, y eso intentamos explicar en los siguientes párrafos

En la actualidad la mayoría de las membranas tienen un diámetro de 8” ó 4”, pero en aras de aumentar la producción las casas de membranas están investigando para crear membranas con un diámetro mayor, y no es difícil ver ya membranas de 16”. La casa Hydranautics ofrece ya membranas de 16”. Exponemos seguidamente una tabla con los modelos existentes y sus principales características:

FABRICANTES/CARACTERÍSTICAS	Tipo de membrana	Flujo de Permeado gpd (m ³ /d)	Área ft ² (m ²)	Max. Presión (bar)	Rechazo de Sales % (mínimo)
HYDRANAUTICS					
Membranas con alto Rechazo de Sales	SWC4 1640	26,000 (92.7)	1600 (149)	69	99.80 (99.60)
Membranas con alto Rechazo de Sales, baja energía y alto flujo	SWC5 1640	34,000 (128.8)	1600 (149)	69	99.80 (99.60)

Tabla 3.2 Modelos y especificaciones técnicas de membranas de 16 pulgadas [3]

Puede comprobarse cómo el área activa de la membrana aumenta considerablemente debido al incremento del diámetro, esto conlleva a un crecimiento importante en el permeado obtenido. Así, si comparamos por ejemplo el modelo SWC4 1640 de 16” con el modelo SWC4+ de 8”, el permeado que se tiene para la segunda es de 24,6 m³/d mientras que para la primera se tiene una caudal de producto de 92,7 m³/d, esto significa que doblar el diámetro de la membrana ha supuesto que el permeado que se obtiene se ha multiplicado por casi 4; es por tanto una interesante reflexión y una nueva línea de desarrollo de las membranas el aumento de su diámetro.

Pero además de este crecimiento en el permeado, se puede observar también que este acrecentamiento del diámetro supone unas presiones máximas menores, esto se debe a que dado que el área ha aumentado no es necesario trabajar con presiones tan altas para obtener un determinado

permeado. Siguiendo con la misma comparación de antes, la presión máxima de operación del modelo SWC4+ es de 82,7 bar, mientras que en el modelo de 16" la presión es de 69 bar, aunque el descenso de la presión no es tan acusado como el del caudal de permeado, supone un importantísimo ahorro en las plantas desaladoras, puesto que el consumo de las bombas de alta presión en las plantas constituye un coste sustancial.

Para una mejor comprensión de las dimensiones mostramos también un esquema del modelo SWC5 1640, tomado de las especificaciones técnicas del catálogo, con sus correspondientes medidas:

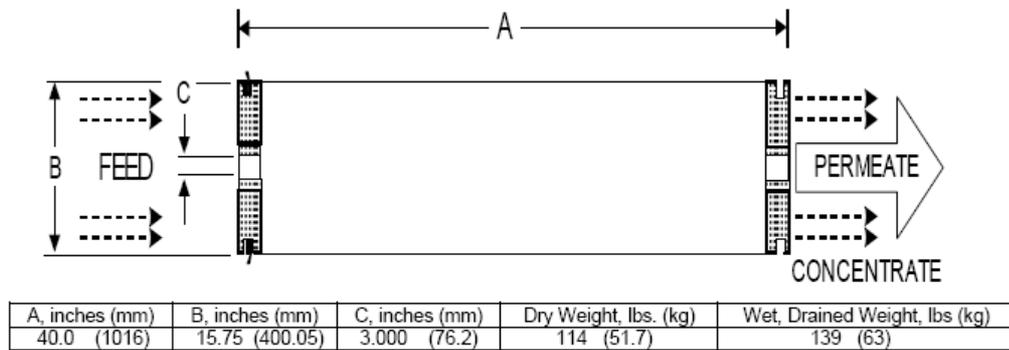


Figura 3.7 Esquema del modelo SWC5 1640 de Hydranautics [3]

3.3 DISEÑOS DE LOS PERMEADORES Y LIMITACIONES TÉCNICAS

Analizaremos varios diseños de permeadores, cada uno de los cuales está formado por 9 membranas, conectadas de manera que el rechazo de una es la alimentación de la siguiente, y el permeado total es la suma de los permeados de cada una de las membranas.

Los diseños han sido tomados de la Tesis de Baltasar Peñate [5], añadiéndole dos membranas más, puesto que sus permeadores estaban formados por siete membranas. Los diseños, son los siguientes:

Diseño 1: nueve membranas del modelo SW30HRLE 400i (Filmtec).

Diseño 2: nueve membranas del modelo SW30ULE 400i (Filmtec).

Diseño 3: nueve membranas del modelo SWC4+max (Hydranautics).

Diseño 4: nueve membranas del modelo TM820E-400 (Toray).

Diseño 5: dos membranas del modelo SW30HRLE 400i y siete del modelo SW30ULE 400i (Filmtec).

Diseño 6: una membrana del modelo SW30HRLE 400i, una membrana del modelo SW30XLE 400i y siete membranas del modelo SW30ULE 400i (Filmtec).

Diseño 7: dos membranas del modelo SWC4+max y siete membranas del modelo SWC6 (Hydranautics).

Diseño 8: una membrana del modelo SWC4+max, una membrana del modelo SWC5max y siete membranas del modelo SWC6 (Filmtec).

Diseño 9: dos membranas del modelo TM820E-400 max y siete membranas del modelo TM820F-400 (Toray).

Los fabricantes de membranas, en las especificaciones técnicas que proporcionan en sus catálogos, advierten de unos parámetros de operación límites; estos límites se refieren a la máxima presión de operación, máxima temperatura de operación, máximo SDI del agua de alimentación, máxima concentración de cloro y máximo caudal de alimentación.

Para cada uno de estos permeadores, veremos las limitaciones que presentan en ciertos parámetros de operación en la primera membrana, ya que ésta es la más crítica debido a que es en ella donde se tiene la mayor presión y el mayor caudal de alimentación, y por tanto donde es más susceptible de que se tenga ensuciamiento y polarización.

Diseño 1: las limitaciones del modelo SW30HRLE 400i, extraídas del catálogo son [1]:

Operating Limits	<ul style="list-style-type: none"> • Membrane Type • Maximum Operating Temperature^a • Maximum Element Pressure Drop • pH Range, Continuous Operation^a • pH Range, Short-Term Cleaning (30 min.)^b • Maximum Feed Silt Density Index (SDI) • Free Chlorine Tolerance^c 	<p>Polyamide Thin-Film Composite</p> <p>113°F (45°C)</p> <p>15 psig (1.0 bar)</p> <p>2 - 11</p> <p>1 - 13</p> <p>SDI 5</p> <p><0.1 ppm</p> <p><small>^a Maximum temperature for continuous operation above pH 10 is 95°F (35°C).</small></p> <p><small>^b Refer to Cleaning Guidelines in Form No. 609-23010.</small></p> <p><small>^c Under certain conditions, the presence of free chlorine and other oxidizing agents will cause premature membrane failure. Since oxidation damage is not covered under warranty, FilmTec Corporation recommends removing residual free chlorine by pretreatment prior to membrane exposure. Please refer to technical bulletin 609-22010 for more information.</small></p>
-------------------------	--	---

Diseño 2: las limitaciones del modelo SW30ULE 400i, extraídas del catálogo son [1]:

Operating Limits	<ul style="list-style-type: none"> • Membrane Type • Maximum Operating Temperature • Maximum Element Pressure Drop • pH Range, Continuous Operation^a • pH Range, Short-Term Cleaning (30 min.)^b • Maximum Feed Silt Density Index (SDI) • Free Chlorine Tolerance^c 	<p>Polyamide Thin-Film Composite</p> <p>113°F (45°C)</p> <p>13 psig (0.9 bar)</p> <p>2 – 11</p> <p>1 – 13</p> <p>SDI 5</p> <p><0.1 ppm</p> <p><small>a. Maximum temperature for continuous operation above pH 10 is 95°F (35°C).</small></p> <p><small>b. Refer to Cleaning Guidelines in specification sheet 609-23010.</small></p> <p><small>c. Under certain conditions, the presence of free chlorine and other oxidizing agents will cause premature membrane failure. Since oxidation damage is not covered under warranty, FilmTec Corporation recommends removing residual free chlorine by pretreatment prior to membrane exposure. Please refer to technical bulletin 609-22010 for more information.</small></p>
-------------------------	--	--

Diseño 3: las limitaciones del modelo SWC4+max, extraídas del catálogo son [3]:

Application Data*	<ul style="list-style-type: none"> Maximum Applied Pressure: Maximum Chlorine Concentration: Maximum Operating Temperature: pH Range, Continuous (Cleaning): Maximum Feedwater Turbidity: Maximum Feedwater SDI (15 mins): Maximum Feed Flow: Minimum Ratio of Concentrate to Permeate Flow for any Element: Maximum Pressure Drop for Each Element: 	<p>1200 psig (8.27 MPa)</p> <p>< 0.1 PPM</p> <p>113 °F (45 °C)</p> <p>2-11 (1-13)*</p> <p>1.0 NTU</p> <p>5.0</p> <p>75 GPM (17.0 m³/h)</p> <p>5:1</p> <p>10 psi</p>
--------------------------	---	---

* The limitations shown here are for general use. For specific projects, operating at more conservative values may ensure the best performance and longest life of the membrane. See Hydranautics Technical Bulletins for more detail on operation limits, cleaning pH, and cleaning temperatures.

Diseño 4: las limitaciones del modelo TM820E-400, extraídas del catálogo son [6]:

Operating Limits

Maximum Operating Pressure	1200 psi (8.4 MPa)
Maximum Feed Water Temperature	113 °F (45 °C)
Maximum Feed Water SDI15	5
Feed Water Chlorine Concentration	Not Detectable
Feed Water pH Range, Continuous Operation	2-11
Feed Water pH Range, Chemical Cleaning	1-12
Maximum Pressure Drop per Element	20 psi (0.14 MPa)
Maximum Pressure Drop per Vessel	60 psi (0.4 MPa)

En el resto de diseños, la primera membrana es algunas de las anteriores.

En realidad, aunque muchos parámetros sean públicos, los fabricantes de membranas proporcionan poca información acerca del comportamiento de sus membranas, y justamente, como se comentaba en el apartado de metodología, las permeabilidades son desconocidas, así como el comportamiento de la membrana frente a la temperatura, por citar algunos ejemplos; esta falta de información limita a los diseñadores de las plantas, e induce, en la mayoría de los casos a diseños erróneos que conllevan grandes pérdidas económicas.

3.4 SOFTWARES DE LAS CASAS DE MEMBRANAS

Además de los catálogos y las especificaciones técnicas, las casas de membranas ofrecen softwares para el diseño de plantas. Filmtec ofrece el software ROSA [2], Hydranautics el software IMSDesign [4], y Toray el programa Toray DS [7].

Vamos a ver el programa ROSA de Filmtec [2]. El programa consta de varias pestañas que iremos viendo. La primera pestaña hace referencia a la información del proyecto; en este apartado se eligen las unidades con las que se quieren trabajar:

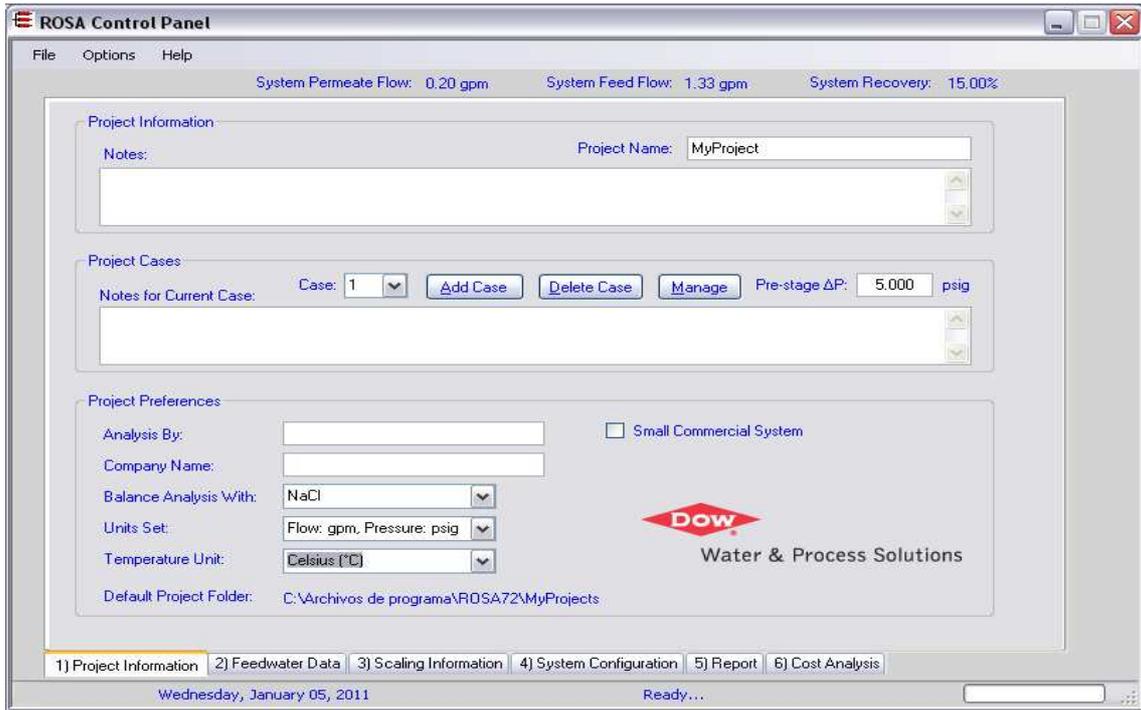


Figura 3.8 Primera pestaña del software ROSA [2]

En la segunda pestaña se introduce la composición del agua y algunos parámetros tales como la temperatura y el pH.

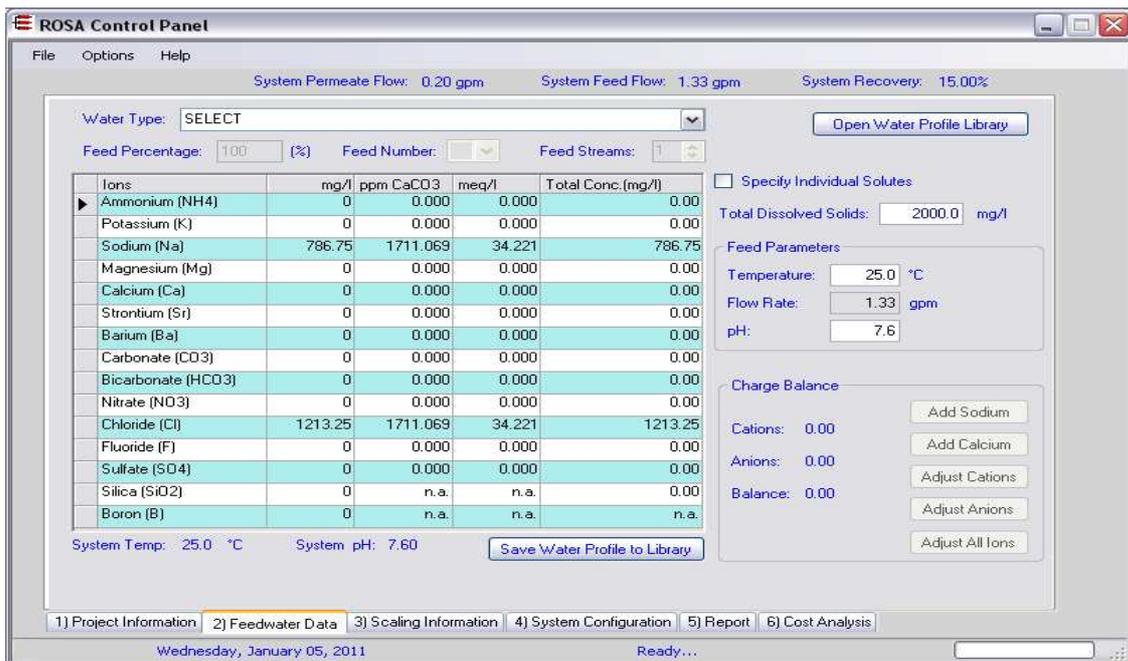


Figura 3.9 Segunda pestaña del software ROSA [2]

En la siguiente etapa el software realiza un ajuste de la composición y pH del agua de alimentación.

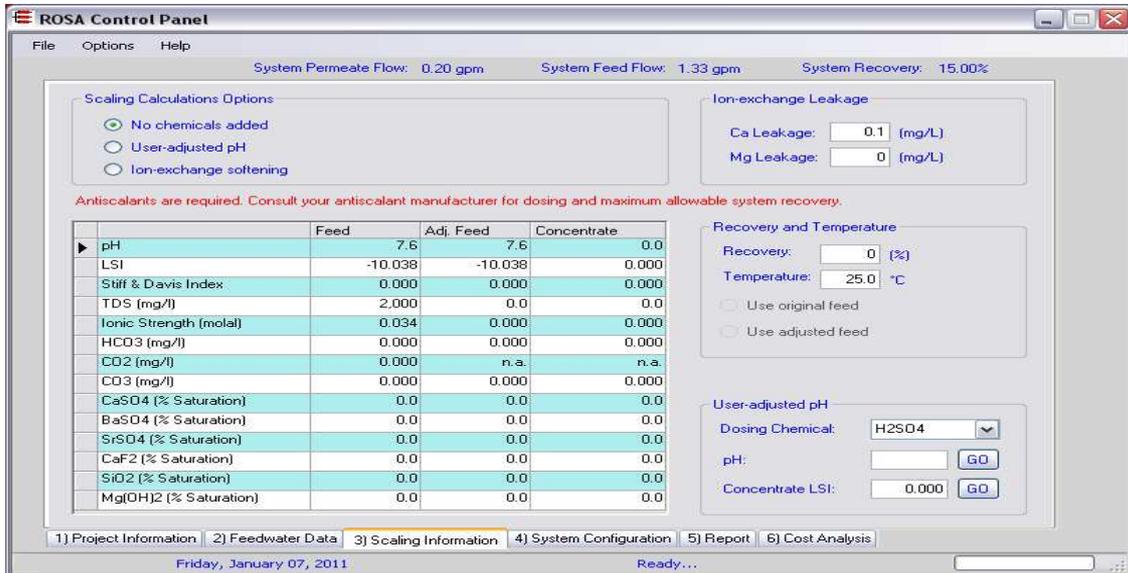


Figura 3.10 Tercera pestaña del software ROSA [2]

La cuarta etapa se configura el módulo de ósmosis, y se introduce la conversión que se desea:

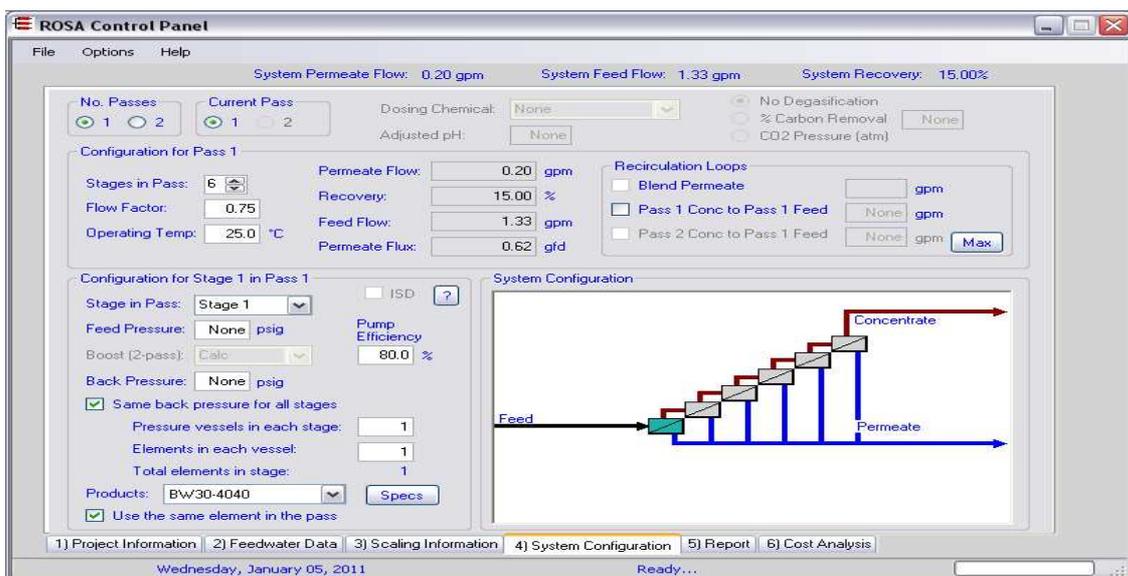


Figura 3.11 Cuarta pestaña del software ROSA [2]

La pestaña número 5, te reporta un archivo pdf en el que se detallan las características de la planta diseñada. En la sexta pestaña se hace un balance de coste de la bomba de alta presión así como de los costes de cada una de las membranas:

System Permeate Flow: 0.20 gpm System Feed Flow: 1.33 gpm System Recovery: 15.00%

	A	B
28	Pass 1 capital(\$/kgal)	\$0.00
29	Operating Expense	
30	Power	
31	Pass 1 pumping power (kW)	0.03
32	Pass 1 pump specific energy (kWh/kgal)	0.15
33	Brine energy recovery (kWh/kgal)	0.00
34	Pass 1 net energy consumption (KWh/kgal)	0.15
35	Pass 1 net energy cost (\$/year)	\$1.25
36	Energy expense NPV (\$)	0.13
37	Pass 1 energy expense (\$/kgal)	\$0.01
38	Membrane replacement cost	
39	Pass 1 replacement rate (%/year)	13
40	Replacement price (\$/element)	\$0.00
41	Pass 1 replacement cost for elements (\$/year)	\$0.00
42	Pass 1 replacement membrane NPV (\$)	\$0.00
43	Pass 1 membrane replacement expense (\$/kgal)	\$0.00
44	Operating expense subtotal	
45	Pass 1 operating expense NPV (\$)	\$0.13
46	Pass 1 operating expense per kgal	\$43.01
47	Pass 1 Total	
48	Pass 1 cost NPV (\$)	\$0.13

1) Project Information 2) Feedwater Data 3) Scaling Information 4) System Configuration 5) Report 6) Cost Analysis

Wednesday, January 05, 2011 Run complete: 0 error(s).

Figura 3.12 Sexta pestaña del software ROSA [2]

3.5 REFERENCIAS

1. Filmtec membrane datasheets (Dow Water Solutions Company) (http://www.dow.com/liquidseps/prod/prd_film.htm), Noviembre 2010.
2. Filmtec RO design software Rosa v.7.01 (Dow Water Solutions Company), Noviembre 2010.
3. Hydranautics membrane datasheets (Nitro Denko Corporation) (<http://www.membranes.com/index.php?pagename=swc>), Noviembre 2010.
4. Hydranautics RO design software IMSDesign v.2008 (Nitro Denko Corporation), Noviembre 2010.

5. B. Peñate, Hybrid reverse osmosis membrane interstage design: thermo-economic analysis, Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, 2010.

6. Toray membrane datasheets (Toray Corporation) (<http://www.toraywater.com/application/page.aspx>), Noviembre 2010.

7. TorayDS, Toray RO software design v.1.1.48 (Toray Corporation), Noviembre 2010.

