Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

MANUAL DE UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE “ROSA” PARA SIMULACIÓN DE UNIDADES DE ÓSMOSIS INVERSA

Autor: Álvaro Muelas Expósito

Directora: Eva Francés Pérez

Especialidad: Química Industrial

Convocatoria: Diciembre 2011

Resumen del proyecto

El presente proyecto tiene por objeto la elaboración de un manual de uso del software “ROSA” (Reverse Osmosis System Analysis), creado por la compañía *Dow Chemical* para la simulación de unidades de ósmosis inversa.

El proyecto presenta una introducción a la ósmosis inversa, en la que se describe su fundamento, los elementos y características principales de una instalación de este tipo y se describen algunas de las aplicaciones más importantes de esta tecnología. También se incluye una breve introducción a la empresa *Dow Chemical*, creadora del software y una de las mayores compañías químicas del mundo, así como dos anexos en los que se muestra el catálogo y características de los elementos que ofrece esta compañía (concretamente su empresa subsidiaria FilmTec) para su utilización en plantas de ósmosis inversa.

Tras estas introducciones se muestra el manual de utilización del programa “ROSA”, detallando su descarga e instalación. Dicho manual describe cada una de las partes de que consta el software, dividiendo su interfaz gráfica para así facilitar su explicación pormenorizada. Puesto que “ROSA” utiliza gran cantidad de parámetros y variables, se ha incluido un apartado en el que se explican una a una.

Por último, se ha incluido un caso práctico, en el que se muestra la aplicación y utilización del software “ROSA” para la resolución de un problema concreto de desalación de agua marina.

Agradecimientos:

En estas líneas me gustaría agradecer a todas aquellas personas que han hecho posible este proyecto.

A mi tutora, Eva Francés, por toda su ayuda, guía y consejos ofrecidos durante la realización del mismo.

A mi familia, por todo su apoyo, paciencia e insistencia mostrada a lo largo de la carrera.

A mis amigos, por estar siempre ahí, en lo bueno y en lo malo.

A mis compañeros y amigos de la EUITIZ, por todos los buenos momentos en la sala de ludo y por hacer que la carrera se me pasara tan rápida.

Finalmente me gustaría agradecer a la empresa Dow Chemical el darme la oportunidad de realizar este proyecto acerca de su software, del que pude disponer gratuitamente desde el primer momento.

ÍNDICE

1. Objetivos del proyecto *9*

2. Introducción a la ósmosis inversa *11*

2.1 Fundamento de la ósmosis inversa **11**

2.2 Tipos de membranas **14**

2.2.1 Según su forma: 14

2.2.2 Según su composición química: 17

2.2.3 Según su presión de trabajo: 18

2.3 Ensuciamientos y técnicas de limpieza **19**

2.4 La unidad de ósmosis inversa **20**

2.4.1 Agrupación de módulos 20

2.4.2 Agrupación de etapas 21

2.4.3 Agrupación de sistemas 23

2.5 Aplicaciones de la ósmosis inversa **25**

2.5.1 Desalación de agua marina: 25

2.5.2 Reducción de la dureza del agua: 26

2.5.3 Concentración de zumos de frutas 26

2.5.4 Fabricación de cerveza sin alcohol 28

3. Dow Chemical *29*

4. El programa ROSA *33*

4.1 Descarga e instalación de ROSA **33**

4.1.1 Descarga de ROSA 33

4.1.2 Instalación de ROSA 41

4.2 Variables de interés en ROSA **45**

4.2.1 Presión, Temperatura y Flujos 45

4.2.1.1 Presión de la alimentación 45

4.2.1.2 Contrapresión 46

4.2.1.3 Presión de impulso 47

4.2.1.4 Temperatura 47

4.2.1.5 Flujos 48

4.2.2 Parámetros de calidad del agua 50

- *SDI* 50
- *pH* 52
- *TDS* 53

- *LSI* 53
- *Ionic Strength* 55
- *Stiff & Davis Index (S&DSI)* 56
- *HCO3 (mg/l):* 57
- *CO2 (mg/l):* 57
- *CO3 (mg/l):* 58
- *CaSO4 (% Saturation):* 58
- *BaSO4 (% Saturation):* 58
- *SrSO4 (% Saturation):* 58
- *CaF2 (% Saturation):* 59
- *SiO2 (% Saturation):* 59
- *Mg(OH)2 (% Saturation):* 59

4.2.3 Parámetros de la membrana 60

4.2.3.1 Factor de Flujo 60

4.2.3.1.1 Dependencia del Factor de Flujo con la temperatura 61

4.2.3.1.2 Elección del Factor de Flujo 63

4.2.3.2 Área Activa 65

4.2.3.3 Porcentaje de Rechazo de Sales 65

4.2.3.4 Porcentaje de recuperación 67

4.2.4 Parámetros Económicos: el NPV 69

5. Interfaz y funcionamiento de ROSA 71

5.1 Botones de cabecera 74

5.1.1 File (Archivo) 74

1) New Proyect (Nuevo Proyecto) 75

2) Open Proyect (abrir proyecto) 75

3) Close Proyect (cerrar proyecto) 77

4) Save Proyect (guardar proyecto) 77

5) Save As (guardar como…) 77

6) Exit (salir) 77

5.1.2 Options (Opciones) 78

1) Batch Processor (Procesador por Lotes) 78

2) Database (Base de Datos) 84

3) Files and Folders (Archivos y Carpetas) 86

4) User Data (Datos de usuario) 89

5.1.3 Help (Ayuda) 93

1) About ROSA (Acerca de ROSA) 93

2) FilmTec Website (Página Web de FilmTec) 94

3) Help (Ayuda) 96

4) Unit Conversion (Conversor de Unidades) 100

5) Show Welcome Screen at Startup (mostrar pantalla de bienvenida al inicio).....100

5.2 Pestañas principales..... 101

5.2.1 Proyect Information (Información del Proyecto) 102

1) Información del Proyecto:.....103

2) Casos del Proyecto:.....103

3) Preferencias del Proyecto:.....106

4) Tamaño del Sistema.....106

5.2.2 Feedwater Data (Datos del Agua de Alimentación).....107

1) Water Type (Tipo de Agua):.....108

2) Feed Streams (Corrientes de Alimentación): 110

3) Feed Number (Número de Corriente de Alimentación):.....111

4) Feed Percentage (Porcentaje de alimentación): 111

5) Open Water Profile Library (Abrir Biblioteca de tipos de Aguas) 111

6) Specify Individual Solutes (Especificar Solutos Individuales) 113

7) Tabla de Composiciones:.....114

8) Feed Parameters (Parámetros de la Alimentación) 117

9) Charge Balance (Balance de Cargas):.....119

5.2.3 Scaling Information (Ampliar Información) 122

1) Scaling Calculation Options (Opciones de Cálculo).....124

2) Tabla de parámetros:.....125

3) Ion-exchange Leakage (Salida de intercambio iónico) 127

4) Recovery and Temperature (% de Recuperación y Temperatura) 128

5) User-adjusted pH (Ajuste del pH).....129

5.2.4 System Configuration (Configuración del Sistema) 132

1) System Configuration (Configuración del Sistema) 134

2) Selección de pasos 136

3) “Configuration for Pass a” (Configuración para el Paso a) 136

4) Ajuste del pH en la entrada del segundo paso.....149

5) “Configuration for Stage b in Pass a” (Configuración para la Etapa b en el Paso a) 151

5.2.5 Report (Informe) 164

5.2.5.1 Informe de prueba discontinua (“Batch Output”).....165

5.2.5.2 Informe de un sistema funcionando en modo continuo.....170

5.2.5.2.1 Resumen del Diseño del Sistema.....172

5.2.5.2.2 Detail Report (Informe Completo) 182

5.2.6 Cost Analysis (Análisis de Costos) 197

5.2.6.1 Unit Set (Set de Unidades) 199

5.2.6.2 Opciones Adicionales.....200

5.2.6.3 Hoja de Cálculo de EVA 201

1) Sección general del proyecto 204

2) Sección dedicada al Paso 1 206

3) Sección dedicada al Paso 2 214
4) Sección final del sistema 216

6. Caso Práctico *217*

6.1 Diseño del Sistema **219**

6.1.1 Introducción de datos de la alimentación 219
6.1.2 Corrección de la Alimentación 222
6.1.3 Configuración del Sistema 225
6.1.3.1 Pautas de Dow Chemical para el diseño de sistemas de OI 225
6.1.3.2 Configuración del Caso Práctico 227
6.1.4 Informe del Sistema 231
6.1.5 Análisis de Costes 233

6.2 Estudio del comportamiento del sistema diseñado frente a la temperatura y al factor de flujo **236**

6.2.1 Variaciones de temperatura con factor de flujo fijo. 236
6.2.2. Variaciones de temperatura y de factor de flujo 241

7. Fuentes de información *247*

Anexo I: Nomenclatura de FilmTec *251*

Anexo II: Selección de elementos de FilmTec *255*

II.1 “Brackish Water” (Agua Salobre): **256**

II.2 “Fouling Resistant” (Resistentes al Ensuciamiento): **256**

II.3 “Low Energy” (de Baja Energía): **257**

II.4 “Industrial Grade Brackish Water” (Agua Salobre de Grado Industrial): **257**

II.5 “Nanofiltration” (Nanofiltración): **258**

II.6 “Sanitary/Full Fit (Medical/Food)” (Agua de uso Sanitario o Alimentario): **258**

II.7 “Seawater” (Agua marina): **259**

II.8 “Semiconductor” (Agua ultrapura): **259**

II.9 “Tap Water (Home Drinking)” (Agua de uso Doméstico): **260**

II.10 “Other Products” (Otros Productos): **260**

1. Objetivos del proyecto

El objetivo del presente proyecto es la realización de un manual en castellano que detalle el uso y manejo del software “ROSA” para la simulación de unidades de ósmosis inversa, ya que actualmente dicho software carece de cualquier tipo de guía o manual que explique su funcionamiento a nuevos usuarios.

Para ello ha sido necesario el manejo y comprensión de dicho software, por lo que al objetivo antes mencionado hay que añadirle el de adquirir conocimientos en el manejo del programa “ROSA”, así como en la tecnología de la ósmosis inversa de forma general.

Por otra parte, el objetivo final es la realización del Proyecto Final de Carrera para la obtención del título de Ingeniero Técnico Industrial especialidad en Química Industrial que oferta la Universidad de Zaragoza.

2. Introducción a la ósmosis inversa

2.1 Fundamento de la ósmosis inversa

La ósmosis es un fenómeno físico relacionado con el comportamiento de un sólido como soluto de una disolución ante una membrana semipermeable, es decir, una membrana que permite el paso del disolvente pero no el de los solutos.

Si se separan mediante esta membrana dos disoluciones de distinta concentración en el soluto, se observa que las moléculas de disolvente migran a través de la membrana semipermeable, mayoritariamente desde la solución hipotónica hacia la hipertónica, de forma que las concentraciones de ambas soluciones tienden a igualarse. Este comportamiento entraña una difusión compleja y espontánea a través de la membrana, sin "gasto de energía".

El flujo de disolvente a través de la membrana continuará hasta que ambas disoluciones sean isotónicas o hasta que la presión hidrostática (la diferencia de altura entre las dos columnas de agua) equilibre la diferencia de presión osmótica (véase figura 2.1).

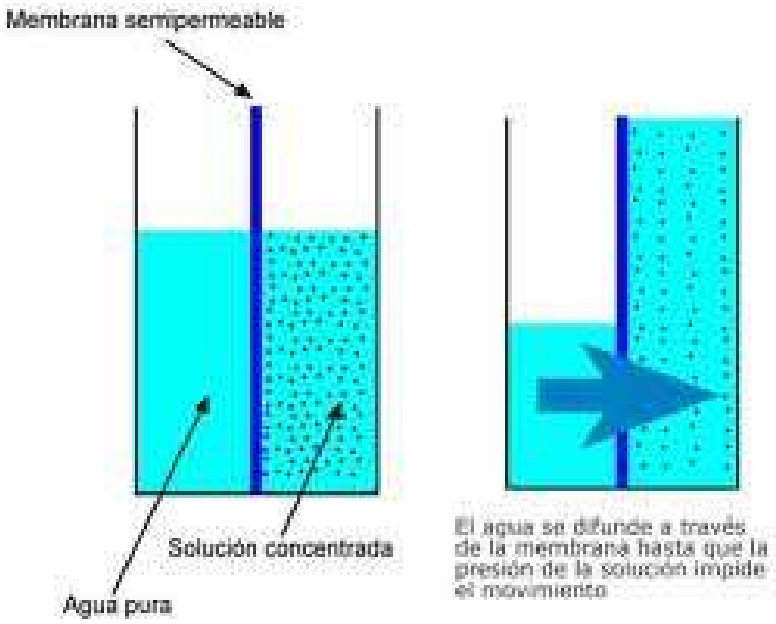


Figura 2.1: Fenómeno de la ósmosis

Si externamente se aumenta la presión del lado de mayor concentración, puede lograrse que el agua pase desde el lado de alta concentración de sales al de baja concentración, produciendo lo que se denomina como ósmosis inversa. Así pues, en la ósmosis inversa las moléculas de disolvente pasan del medio hipertónico al hipotónico, como se observa en la figura 2.2:

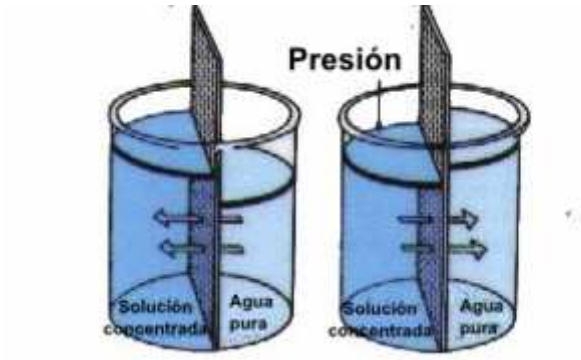


Figura 2.2: Ósmosis Inversa

En la industria, es común esquematizar el proceso continuo de ósmosis inversa de la forma en la que se muestra en la figura 2.3.

El permeado es la disolución que consigue atravesar la membrana, mientras que el rechazo o concentrado, es la disolución que no consigue atravesar la membrana semipermeable, por lo que será más rica en la sal que la alimentación.

El compartimento por el que pasa el permeado después de atravesar la membrana se denomina de baja presión, mientras que aquel que se sitúa antes de la membrana recibe el nombre de compartimento de alta presión.

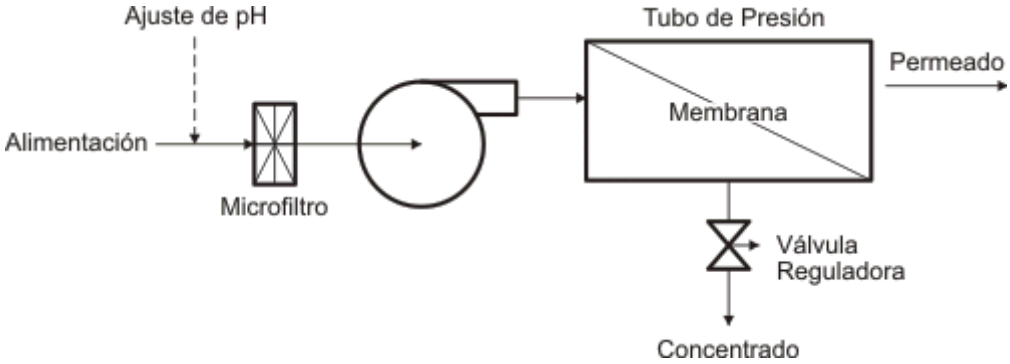


Figura 2.3: Esquema del proceso industrial de la ósmosis inversa

Como puede apreciarse en la figura 2.3, los elementos fundamentales para llevar a cabo este fenómeno son:

- La bomba, que presuriza la alimentación de forma que se consiga que atraviese la membrana un caudal determinado.
- La membrana, que es la encargada de realizar la separación deseada.

Puesto que las membranas son muy delicadas y tienen un elevado precio, es muy usual tratar la alimentación antes de llevar a cabo el proceso de ósmosis inversa. En el proceso mostrado en la figura 2.3 se observa que antes de llegar a la membrana, la alimentación recibe un ajuste de pH y se somete a una microfiltración, que normalmente elimina las partículas que podrían obstruir la membrana.

La figura 2.4 muestra el grado de separación que se consigue según la tecnología utilizada. Se observa que la ósmosis inversa es la única que consigue la retención de iones y de coloides de tamaño inferior a 1 nm.

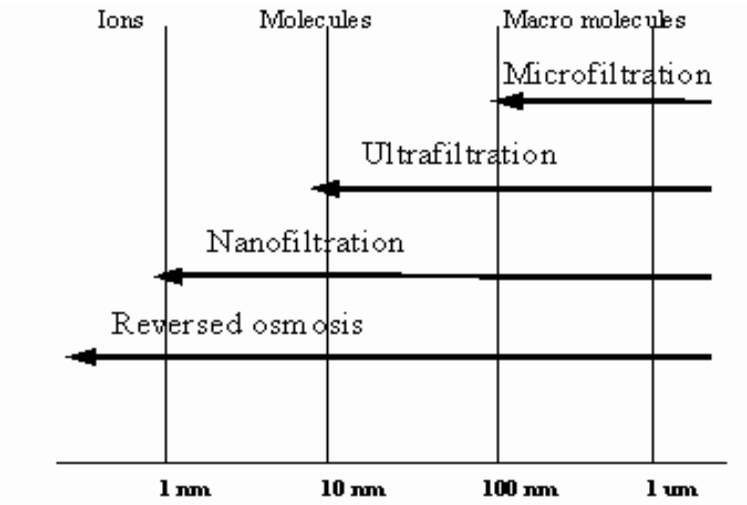


Figura 2.4: Grados de retención conseguidos en distintas tecnologías de separación

2.2 Tipos de membranas

Las membranas son el elemento más importante en una instalación de ósmosis inversa, puesto que de ellas dependen importantes factores como son la selectividad, la relación entre el caudal de permeado y la alimentación o el factor de concentración. Se pueden clasificar atendiendo a numerosos criterios:

2.2.1 Según su forma:

Atendiendo a la forma en la que estén fabricadas, las membranas de ósmosis inversa pueden clasificarse en tres tipos:

- **Membranas planas:** Son poco utilizadas industrialmente debido a que presentan una baja área de contacto en comparación con el resto de tipos. El principio de funcionamiento, como se puede seguir en la figura 2.5, se basa en un apilamiento que consta de dos membranas separadas por una rejilla destinada a transportar el fluido de alimentación. El permeado se recoge a ambos lados de las membranas, mientras que el caudal de retenido o rechazo sale paralelo a éstas.

  Para obtener el área deseada se superpone este apilamiento tantas veces como sea necesario. Los módulos de membranas planas suelen presentar una relación superficie/volumen de unos 100-400 m^2/m^3.

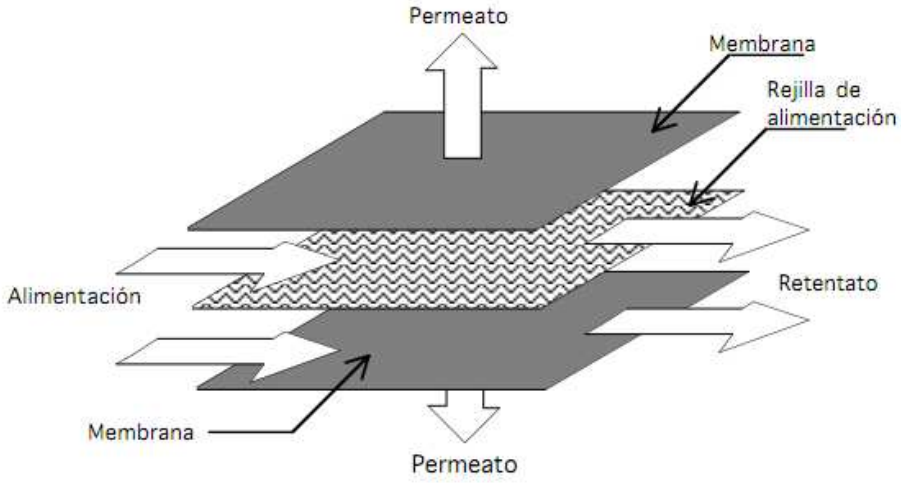


Figura 2.5: Apilamiento de membranas planas

- **Membranas tubulares:** Este tipo de membranas son más utilizadas debido a su mayor área por unidad de volumen, que suele ser de unos 400 m^2/m^3. Es usual que se agrupen dentro de un tubo, de forma que el permeado circula por el tubo mientras que la salida de los tubos interiores constituye el rechazo. En la figura 2.6 se muestra el esquema de circulación de flujos en una membrana tubular. Nótese que, a diferencia de las filtraciones habituales, la dirección del flujo a tratar es paralelo a la membrana, y no perpendicular a ella.

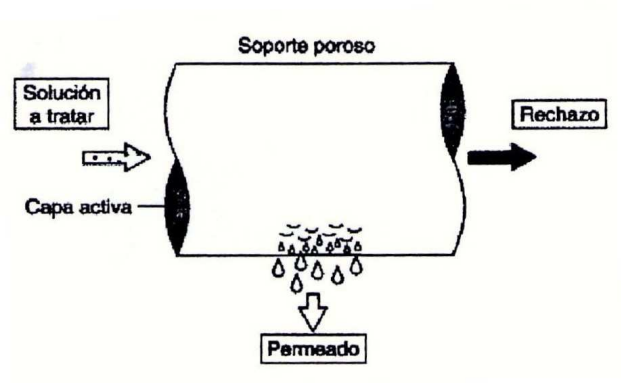


Figura 2.6: Flujos en una membrana tubular

Las membranas tubulares tienen un diámetro de 5 a 15 mm, por lo que es difícil que lleguen a obstruirse, y pueden aceptar gran cantidad de fluidos sin apenas tratamiento previo. Sin embargo, su mayor desventaja es su bajo empaquetamiento, que conlleva un mayor coste del módulo.

Figura 2.7: Distintas membranas tubulares

- **Membranas de fibra hueca:** Las membranas de fibra hueca tienen un diámetro inferior a 0,1 µm. Este diámetro tan pequeño hace que presenten un empaquetamiento muy alto (que puede llegar a los 30000 m^2/m^3), pero también grandes posibilidades de obstrucción, por lo que sólo pueden ser usadas para el tratamiento de aguas con un bajo contenido en sólidos suspendidos y siempre tras un completo pretratamiento.

  En este tipo de membranas, la alimentación no circula por el interior del cilindro formado por la membrana, sino que lo hace exteriormente, y es el permeado el que atraviesa y circula por su interior, como puede verse en la figura 2.8.

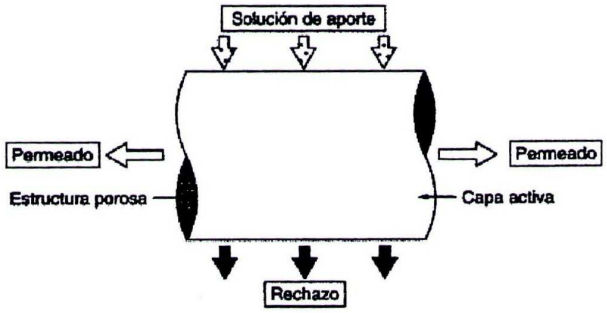


Figura 2.8: Flujos en una membrana de fibra hueca

Exteriormente, las membranas de fibra hueca tienen el aspecto que se muestra en la figura 2.9:

Figura 2.9: Membrana de fibra hueca

2.2.2 Según su composición química:

En función de qué material esté fabricada la capa activa[1] se pueden distinguir entre:

- **Membranas orgánicas:** La capa activa está fabricada a partir de un polímero orgánico. Las más importantes son:
  - Acetato de celulosa
  - Triacetato de celulosa
  - Poliamidas aromáticas
  - Poliéter-urea
  - Poliacrilonitrilo

  En general, puede afirmarse que las principales ventajas de este tipo de membranas son su menor precio y su mejor procesabilidad. En cambio, tienen una vida de operación corta, y se ven muy afectadas por la temperatura, el pH y multitud de sustancias químicas.

  Debido a sus características, sus principales usos se encuentran en el tratamiento de fluidos que hayan sido convenientemente pretratados y a bajas temperaturas.

- **Membranas inorgánicas:** Este tipo de membranas suelen estar formadas por cerámicas (alúmina), vidrios, fosfacenos o estructuras de carbono. Las más utilizadas son las cerámicas refractarias preparadas a partir de la alúmina, el zirconio ó el óxido de titanio.

  Son de relativa actualidad, y con el paso del tiempo se han ido imponiendo a las orgánicas, ya que presentan una mejor

[1] La capa activa es la parte de la membrana que da la selectividad y características más importantes de ésta. Normalmente está soportada sobre un lecho poroso que aumenta su resistencia mecánica.

resistencia mecánica, térmica y química, lo que les confiere una larga vida de operación. Además, son bioinertes, lo que supone una gran ventaja si el fluido está destinado al consumo humano. Sus principales desventajas son su fragilidad y coste, que generalmente suele ser superior al de las orgánicas.

Debido a su estabilidad térmica y química, pueden utilizase para el tratamiento de fluidos a elevadas temperaturas, en un amplio rango de pH y con la presencia de agentes oxidantes como el cloro. Además, su inercia biológica las hace muy interesantes para el tratamiento de fluidos de la industria alimentaria.

2.2.3 Según su presión de trabajo:

La presión de trabajo es una característica muy importante en una membrana, y puede indicar a qué fin está dedicada. Normalmente, cuanto mayor cantidad de sales tiene la alimentación, es necesario utilizar módulos con una mayor presión de trabajo.

- **Membranas de muy baja presión:** Emplean presiones de entre 5 y 10 bares, y se utilizan para desalar aguas de baja salinidad y fabricar agua ultrapura.
- **Membranas de baja presión:** Utilizan presiones de entre 10 y 20 bares, y se suelen usar para desalar aguas de salinidad media.
- **Membranas de media presión:** su rango de trabajo está comprendido entre los 20 y los 40 bares, y se utilizan para numerosas aplicaciones.
- **Membranas de alta presión:** su principal aplicación es la desalación de agua del mar para obtener agua potable. Emplean presiones de entre 50 y 80 bares.

2.3 Ensuciamientos y técnicas de limpieza

A pesar del pretratamiento al que se someta la corriente de alimentación, es habitual que con el tiempo descienda el rendimiento de una planta de ósmosis inversa. Esto, principalmente es debido a:

- Precipitaciones de sales minerales y óxidos metálicos. Si se controla su concentración es posible evitarlos (haciendo que no se supere sus productos de solubilidad).
- Depósitos de partículas y coloides. Los coloides particularmente crean grandes problemas de obstrucción de las membranas, por lo que se ha desarrollado un método para cuantificar el atascamiento que producen: el SDI, que se describe en el apartado 4.2.2 de este manual.
- Desarrollos biológicos, que se dan cuando la alimentación contiene nutrientes que favorecen el desarrollo de microorganismos en el interior de los módulos.

Para restaurar las características de funcionamiento de la planta es necesario realizar una limpieza periódica de las membranas. Esta limpieza puede realizarse de diversos métodos:

- **Limpieza mecánica:** consiste en pasar una esponja o cepillo para desprender la suciedad depositada en la membrana. No es aconsejable, ya que puede rayar y destruir la capa activa.
- **Limpieza con permeado a presión o Flushing:** consiste en hacer llegar a las membranas un permeado exento de sustancias disueltas, de tal forma que arrastre la suciedad.
- **Limpieza química:** consiste en recircular a través de los módulos una serie de productos químicos disueltos en agua capaces de disolver las precipitaciones o eliminar los depósitos.

2.4 La unidad de ósmosis inversa

En este apartado se describirán distintas formas de agrupar los módulos de ósmosis inversa en una instalación. En este apartado se utiliza una nomenclatura que no coincide con la que se utiliza en el programa ROSA, que se explicará en el apartado 5.2.4.1 de este manual.

2.4.1 Agrupación de módulos

Para mejorar los rendimientos de una planta de ósmosis inversa, es muy común agrupar los módulos, tanto en serie como en paralelo.

- **Módulos en serie:** el permeado se recolecta en cada módulo y se conduce a un colector de permeado general. El rechazo del primer módulo se convierte en la alimentación del módulo siguiente, y así sucesivamente hasta llegar al rechazo general (véase figura 2.10).

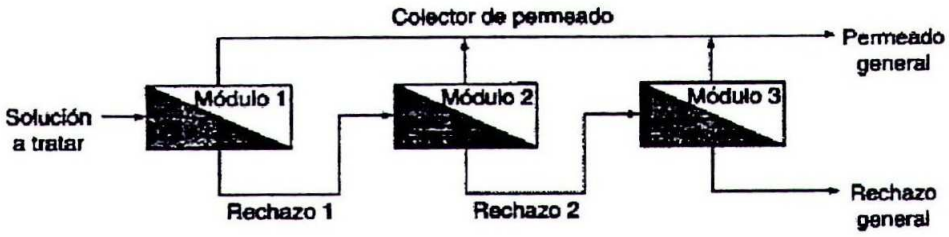


Figura 2.10: Módulos en serie

- **Módulos en paralelo**: en este caso, todos los módulos reciben la misma alimentación, que se reparte mediante un colector de aporte. El permeado de todos los módulos va al permeado general, mientras que el rechazo se canaliza mediante el rechazo general (véase figura 2.11).

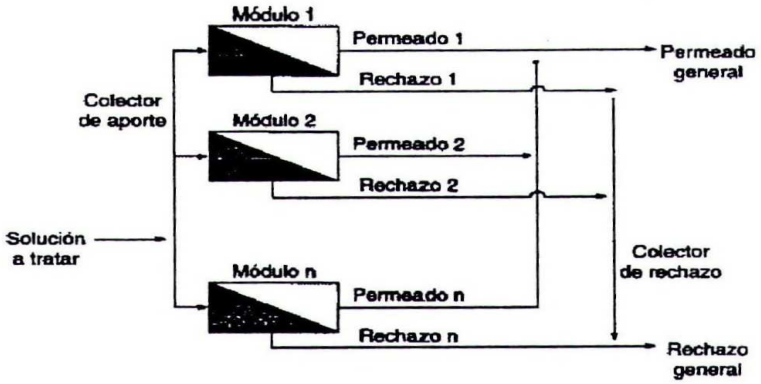


Figura 2.11: Módulos en paralelo

2.4.2 Agrupación de etapas

En primer lugar, hay que definir etapa como el conjunto de módulos que trabajan en paralelo, a la misma presión y alimentados desde una misma línea. Las etapas, como los módulos, pueden combinarse de diversas formas:

- **Rechazo en serie:** El rechazo de una etapa es la alimentación de la etapa siguiente, mientras que los permeados que se generan en cada etapa se canalizan separadamente. Es un sistema análogo a la agrupación de módulos en serie, como se observa en la figura 2.12.

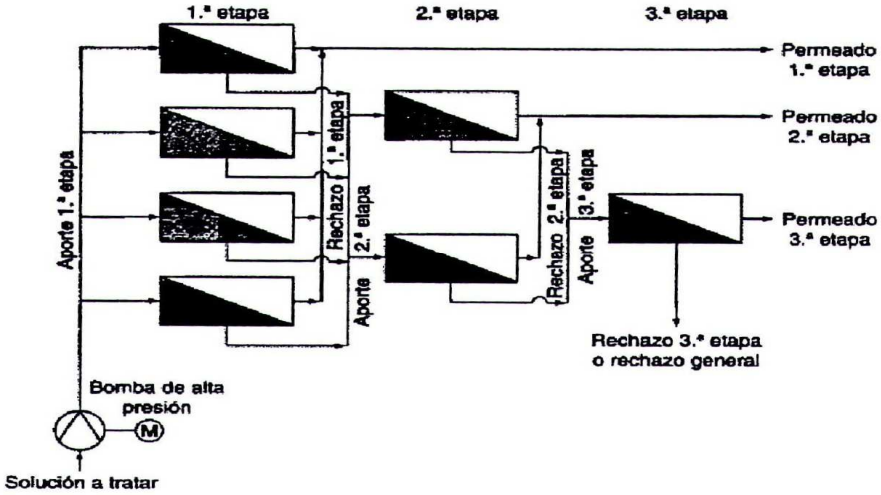


Figura 2.12: Agrupación de etapas con rechazo en serie

Al instalar etapas en serie se consigue un mayor porcentaje de recuperación, como se puede observar en la tabla 2.1:

Tabla 2.1: Porcentaje de recuperación dependiendo del número de etapas en serie

Porcentaje de recuperación	Número de etapas en serie
50	1
75	2
87,5	3

De la tabla 2.1 se concluye que, si bien al aumentar el número de etapas también lo hace la recuperación, este aumento es menor cuantas más etapas tenga la instalación. Por este motivo no es común instalar más de 3 etapas en serie, ya que la ganancia en porcentaje de recuperación no suele compensar al gasto que supone una etapa nueva.

- **Recirculación del rechazo:** en este tipo de agrupación de etapas, los rechazos de los módulos no son llevados a una segunda etapa en línea, sino que se colectan en una tubería única, como se ve en la figura 2.13. De esa tubería, parte se recircula para que se una con la alimentación, mientras que la otra parte se desecha como rechazo general. Los permeados se separan de la forma habitual.

  Con este procedimiento pueden alcanzarse conversiones de hasta el 75%, es decir, concentraciones en el rechazo cuatro veces superiores a las de la alimentación.

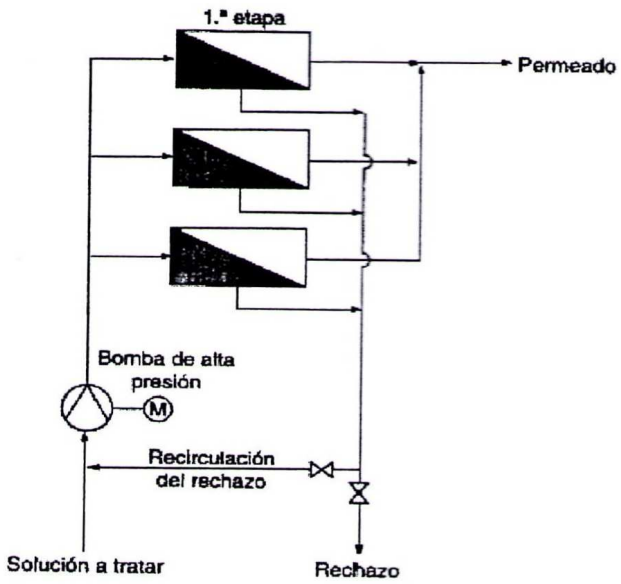


Figura 2.13: Agrupación de etapas con recirculación del rechazo

2.4.3 Agrupación de sistemas

Un sistema es un conjunto de etapas agrupadas de cualquier forma, pero con una única bomba de alta presión. Atendiendo a esta definición, las plantas de ósmosis inversa pueden organizarse de distintas formas según cómo agrupen sus sistemas:

- **Sistemas en serie:** Los sistemas se denominan “pasos”, y están conectados de forma análoga a los agrupamientos de etapas con rechazo en serie. En este caso es muy raro encontrar más de dos sistemas colocados en serie, debido al elevado precio de las bombas de alta presión, que hacen que el aumento en el porcentaje de recuperación no sea rentable.

- **Sistemas en paralelo:** Los sistemas se agrupan análogamente a la agrupación de módulos en paralelo, aunque como a la entrada de cada sistema se encuentra una bomba de alta presión, la alimentación puede no tener la misma presión en los dos sistemas. Como se puede observar en la figura 2.14, dentro de cada sistema puede haber varias etapas, en este caso, funcionando en serie.

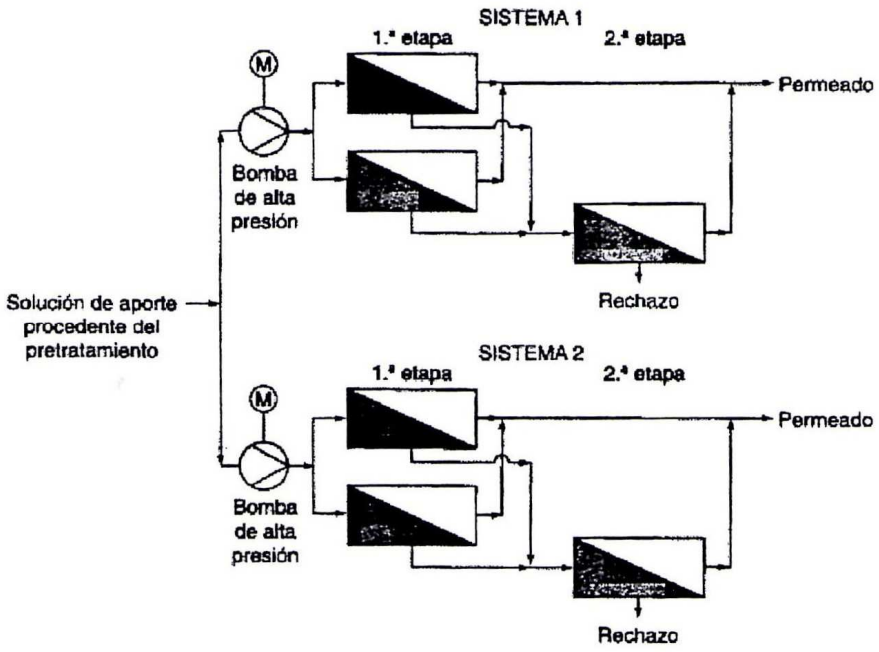


Figura 2.14: Agrupación de sistemas trabajando en paralelo

2.5 Aplicaciones de la ósmosis inversa

La ósmosis inversa tiene multitud de aplicaciones en la industria. A continuación se presentarán algunas de las más importantes.

2.5.1 Desalación de agua marina:

La ósmosis inversa se ha convertido en la tecnología más rentable económicamente, y por tanto, la más utilizada para obtener grandes caudales de agua dulce a partir del agua del mar. Para ello hay que tener en cuenta que el agua de entrada presenta gran cantidad de sólidos disueltos, por lo que su presión osmótica es muy elevada. Esto hace que sea necesario aplicar grandes presiones para conseguir un flujo considerable de agua desalinizada a través de las membranas.

El agua marina se recoge mediante la construcción de un pozo playero o bien mediante captación directa del mar mediante una tubería. Esa agua se conduce a una estación de pretratamiento, vital para el buen funcionamiento de la planta. Este pretratamiento es personalizado para las características de cada planta, e incluye tanto procesos convencionales de clarificación (coagulación-floculación, filtración simple, decantación…) como procesos de membrana (micro y ultrafiltración). A la salida del pretratamiento, el agua pasa a la planta de ósmosis inversa, donde se presuriza mediante bombas de alta presión para lograr una conversión del 40-60% para agua del mar y hasta un 85% para aguas salobres.

Actualmente, este proceso consume entre 3 y 4 kWh/m^3, muy lejos de los 20 kWh/m^3 necesarios en los comienzos de esta tecnología a principios de los años 60, y es de esperar que con el desarrollo de la tecnología estos costes sigan disminuyendo.

Figura 2.15: Sistema DESALATOR de Veolia Water

2.5.2 Reducción de la dureza del agua:

La tecnología de la ósmosis inversa también se utiliza para reducir las concentraciones de sales de magnesio y calcio, responsables de la dureza del agua. El funcionamiento es muy similar al de la desalinización de agua marina, pero puesto que en este caso hay una menor concentración de sólidos disueltos, las necesidades energéticas del bombeo en este caso serán mucho menores.

La reducción de dureza del agua mediante este método presenta ventajas frente a otros métodos como pueden ser el intercambio iónico, ya que no precisa regeneración, elimina la gran mayoría de las sustancias orgánicas y biológicas y requiere menos espacio para su ubicación.

2.5.3 Concentración de zumos de frutas

La concentración de zumos de frutas consiste en la eliminación de agua de éstos para reducir el coste asociado a su transporte. Esta eliminación de agua puede llevarse a cabo industrialmente de numerosas formas. Las más utilizadas son la destilación a vacío, la ósmosis inversa y las técnicas criogénicas.

La ósmosis inversa presenta las ventajas de que, al no necesitar cambios de temperatura, el zumo no ve modificadas sus propiedades organolépticas ni se destruyen sus vitaminas. Además, para concentraciones del orden del 30-35%, es el método que consume menos energía.

Sus principal desventaja es que, a medida que el zumo se va concentrando, la presión osmótica crece exponencialmente, de forma que no es posible alcanzar concentraciones mayores del 35%, lo que no ocurre en otras técnicas (mediante destilación al vacío se puede llegar a una concentración del 80%). Además, algunos compuestos de bajo peso molecular son capaces de pasar a través de las membranas, por lo que no sólo se retira agua de los zumos.

En la figura 2.16 se muestra el esquema de una planta de concentración de zumo de naranja mediante ósmosis inversa. Se observa que la instalación cuenta con dos pasos en serie con recirculación del permeado del segundo paso.

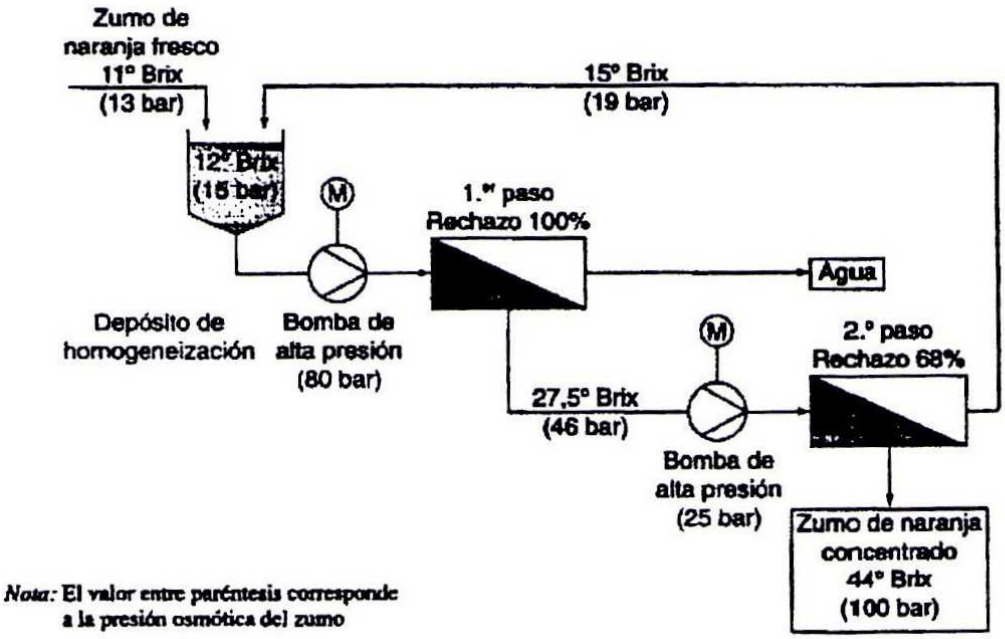


Figura 2.16: Sistema de concentración de zumo de naranja.

2.5.4 Fabricación de cerveza sin alcohol

La ósmosis inversa se utiliza ampliamente para la elaboración de cerveza sin alcohol. Para ello se combina con la destilación fraccionada: al introducir la cerveza en un módulo de ósmosis inversa, permea una mezcla de agua, alcohol y compuestos de bajo peso molecular. Esta mezcla se conduce a una columna de destilación, donde se retira el alcohol que sale en cabeza. La fracción de cola de la columna, formada por agua y compuestos de bajo peso molecular se retorna al rechazo del módulo de ósmosis inversa, logrando así obtener cerveza libre de alcohol. Este proceso se puede seguir en la figura 2.17:

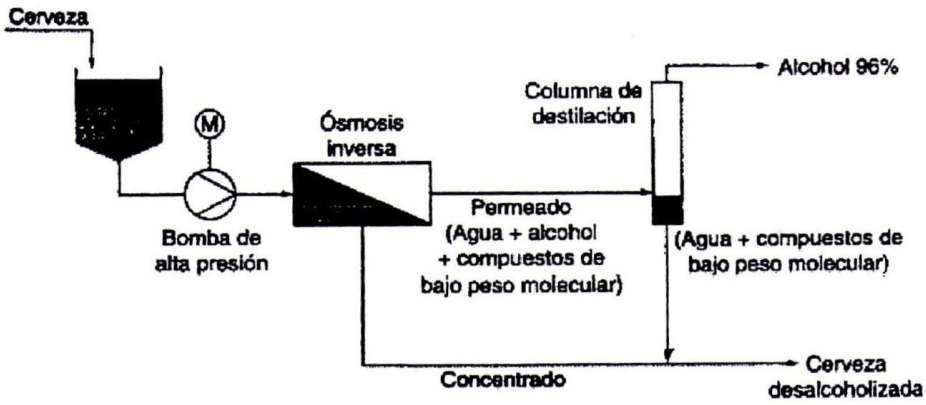


Figura 2.17: Esquema simplificado del proceso de desalcoholización de la cerveza.

La desalcoholización de la cerveza mediante este método presenta las ventajas adicionales de que al no necesitar el uso de calor, la cerveza no pierde sus propiedades, y además, puesto que la cerveza se mantiene en todo momento bajo presión, no se descarbonata.

3. Dow Chemical

The Dow Chemical Company es una de las mayores compañías químicas del mundo. Tiene su central ubicada en Midland, Michigan (EEUU), y es una corporación multinacional que cuenta con 50000 empleados repartidos en 188 plantas situadas en 35 países.

Figura 3.1: Logo corporativo de Dow Chemical

La Dow Chemical fue creada por Herbert Henry Dow en 1897. Inicialmente la empresa se dedicaba únicamente a la producción industrial de lejía y de bromuro de potasio a partir de salmuera, pero poco a poco fue ampliando su gama de productos químicos, hasta llegar a la gran variedad de productos y manufacturas que fabrica en la actualidad. Hoy en día, la compañía está dividida en ocho grandes segmentos, cada uno de ellos dedicado a una rama específica de investigación y producción:

- Materiales: que se especializa en la investigación de materiales y especialmente, de nuevos materiales electrónicos.
- Revestimientos e infraestructura: dedicado a los materiales de recubrimiento, construcción, polímeros adhesivos…
- Ciencias de la salud y la agricultura: este segmento se centra mayoritariamente en la investigación y producción industrial de productos químicos agrícolas.
- Sistemas de alto rendimiento: dedicado, entre otras funciones, a los productos elastómeros y a los sistemas de automoción.

- Productos de alto rendimiento: este segmento se especializa en la investigación y producción industrial de un gran número de productos químicos: aminas, resinas epoxi, disolventes, monómeros, poliglicoles…
- Plásticos: se dedica a la investigación y producción de polímeros plásticos, principalmente polietileno, poliestireno, poliuretanos y polipropileno.
- Químicos y energía: este segmento representa una importante fracción de la Dow Chemical, y se especializa en la industria del cloro-álcali, del cloro-vinilo, procesos de obtención y aprovechamiento energéticos, la producción industrial de etilenglicol, de óxido de etileno, y de todo tipo de compuestos organoclorados.
- Hidrocarburos: como su propio nombre indica, este segmento está ligado a los procesos relacionados con el procesamiento y refino de todo tipo de hidrocarburos.

Dow combina la producción industrial a gran escala con la investigación en nuevos productos y materiales. De hecho, su presupuesto en investigación y desarrollo excede el billón de dólares anuales.

Asimismo, la Dow Chemical posee una empresa subsidiaria llamada “FilmTec Corporation” dedicada a la producción de elementos e instalaciones de purificación de agua, principalmente membranas de ósmosis inversa y de nanofiltración, denominadas comercialmente membranas FILMTEC™. Esta compañía subsidiaria forma parte del ramal llamado “Dow Water & Process Solutions Business”, dedicado a la investigación y puesta en marcha de instalaciones para la purificación de agua para el uso humano, especialmente en países como Emiratos Árabes Unidos o Arabia Saudí. La investigación en purificación de agua se centra tanto en la ósmosis inversa como en el intercambio iónico. En este sentido, la marca comercial de las resinas de intercambio iónico creadas por Dow es DOWEX™.

La compañía Dow Chemical está dividida en diferentes filiales repartidas por todo el mundo. La filial “Dow Ibérica” administra las plantas e instalaciones de la compañía en España y Portugal, donde se producen y suministran productos químicos, desde agua potable, alimentos y medicamentos, hasta pinturas, material de embalaje y productos para la salud e higiene personal.

Dow Ibérica posee una sede social y de ventas en Madrid, así como tres centros de producción (véase figura 3.2):

- **Tarragona:** producción de poliglicoles, polioles, polipropileno, y diversos copolímeros de etileno utilizados principalmente para embalajes, sellantes y aplicaciones médicas.
- **Ribaforada (Navarra):** la principal actividad de Dow en Ribaforada es la producción de polioles formulados y prepolímeros para el mercado de España y Portugal.
- **Estarreja (Portugal):** esta planta se dedica principalmente a la producción de isocianatos poliméricos, utilizados en la producción de espumas de poliuretano, que son ampliamente utilizadas en industrias como la de la construcción, la automoción o del calzado. Desde 2003, también se fabrica STYROFOAM™, la marca registrada de Dow Chemical para las placas rígidas de poliestireno extraído, muy utilizadas en el aislamiento térmico para construcción civil.

Figura 3.2: Ubicación de Dow Ibérica

4. El programa ROSA

El programa ROSA es un software desarrollado por Dow Chemical para el cálculo de instalaciones industriales de ósmosis inversa. ROSA son las siglas de “Reverse Osmosis System Analysis” (Sistema de Análisis de Ósmosis Inversa), y se trata de una herramienta asistida por ordenador para el diseño y operación de sistemas de ósmosis inversa y nanofiltración para el tratamiento y purificación de aguas.

4.1 Descarga e instalación de ROSA

En este apartado se explicarán los pasos necesarios para descargar e instalar el programa ROSA en el ordenador.

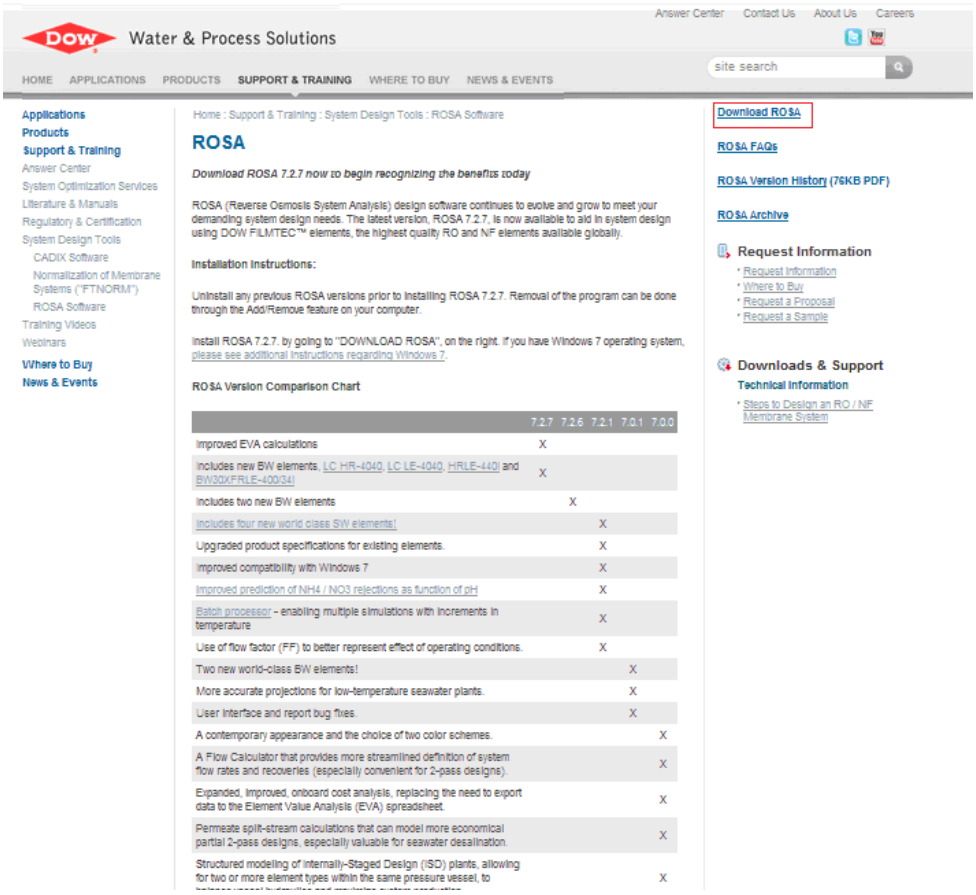
ROSA es propiedad de Dow Chemical, y su acceso requiere de registro y licencia. Así pues, también se mostrará la forma de registrarse y de obtener la licencia para poder operar con él.

4.1.1 Descarga de ROSA

En primer lugar, el futuro usuario deberá descargarse el programa, que se encuentra disponible en la página web de Dow Chemical. A continuación se muestra el enlace a la descarga:

http://www.dowwaterandprocess.com/support_training/design_tools/rosa.htm

El explorador de Internet conducirá a una página como la que se muestra en la figura 4.1:



Answer Center Contact Us About Us Careers

Water & Process Solutions

site search

HOME APPLICATIONS PRODUCTS SUPPORT & TRAINING WHERE TO BUY NEWS & EVENTS

Applications
Products
Support & Training
Answer Center
System Optimization Services
Literature & Manuals
Regulatory & Certification
System Design Tools
CADIX Software
Normalization of Membrane Systems ("FTNORM")
ROSA Software
Training Videos
Webinars
Where to Buy
News & Events

Home : Support & Training : System Design Tools : ROSA Software

ROSA

Download ROSA 7.2.7 now to begin recognizing the benefits today

ROSA (Reverse Osmosis System Analysis) design software continues to evolve and grow to meet your demanding system design needs. The latest version, ROSA 7.2.7, is now available to aid in system design using DOW FILMTEC™ elements, the highest quality RO and NF elements available globally.

Installation Instructions:

Uninstall any previous ROSA versions prior to installing ROSA 7.2.7. Removal of the program can be done through the Add/Remove feature on your computer.

Install ROSA 7.2.7. by going to "DOWNLOAD ROSA", on the right. If you have Windows 7 operating system, please see additional instructions regarding Windows 7.

ROSA Version Comparison Chart

	7.2.7	7.2.6	7.2.1	7.0.1	7.0.0
Improved EVA calculations	X				
Includes new BW elements, LC HR-4040, LC LE-4040, HRLE-4401 and BW30XFRLE-400/34i	X				
Includes two new BW elements		X			
Includes four new world class SW elements!			X		
Upgraded product specifications for existing elements.			X		
Improved compatibility with Windows 7			X		
Improved prediction of NH4 / NO3 rejections as function of pH			X		
Batch processor - enabling multiple simulations with increments in temperature			X		
Use of flow factor (FF) to better represent effect of operating conditions.			X		
Two new world-class BW elements!				X	
More accurate projections for low-temperature seawater plants.				X	
User interface and report bug fixes.				X	
A contemporary appearance and the choice of two color schemes.					X
A Flow Calculator that provides more streamlined definition of system flow rates and recoveries (especially convenient for 2-pass designs).					X
Expanded, improved, onboard cost analysis, replacing the need to export data to the Element Value Analysis (EVA) spreadsheet.					X
Permeate split-stream calculations that can model more economical partial 2-pass designs, especially valuable for seawater desalination.					X
Structured modeling of Internally-Staged Design (ISD) plants, allowing for two or more element types within the same pressure vessel, to					X

Download ROSA
ROSA FAQs
ROSA Version History (76KB PDF)
ROSA Archive

Request Information
- Request Information
- Where to Buy
- Request a Proposal
- Request a Sample

Downloads & Support
Technical Information
- Steps to Design an RO / NF Membrane System

Figura 4.1: Página de descarga de ROSA

En dicha página se explica cómo instalar ROSA 7.2.7 en el ordenador. En primer lugar, se avisa que será necesario desinstalar cualquier versión anterior del programa, antes de comenzar con la instalación de la nueva versión.

En la parte inferior de la página, se encuentra una tabla comparatoria de las versiones de ROSA. Este manual trata de la versión 7.2.7, la más reciente de las disponibles, y por tanto, la más completa.

El enlace a la descarga del programa se encuentra en la parte superior derecha de la página (en la figura 4.1 se ha recuadrado en rojo). Una vez se pincha en el texto “Download ROSA”, el navegador conducirá al usuario a la página de registro, que se presenta en la figura 4.2:

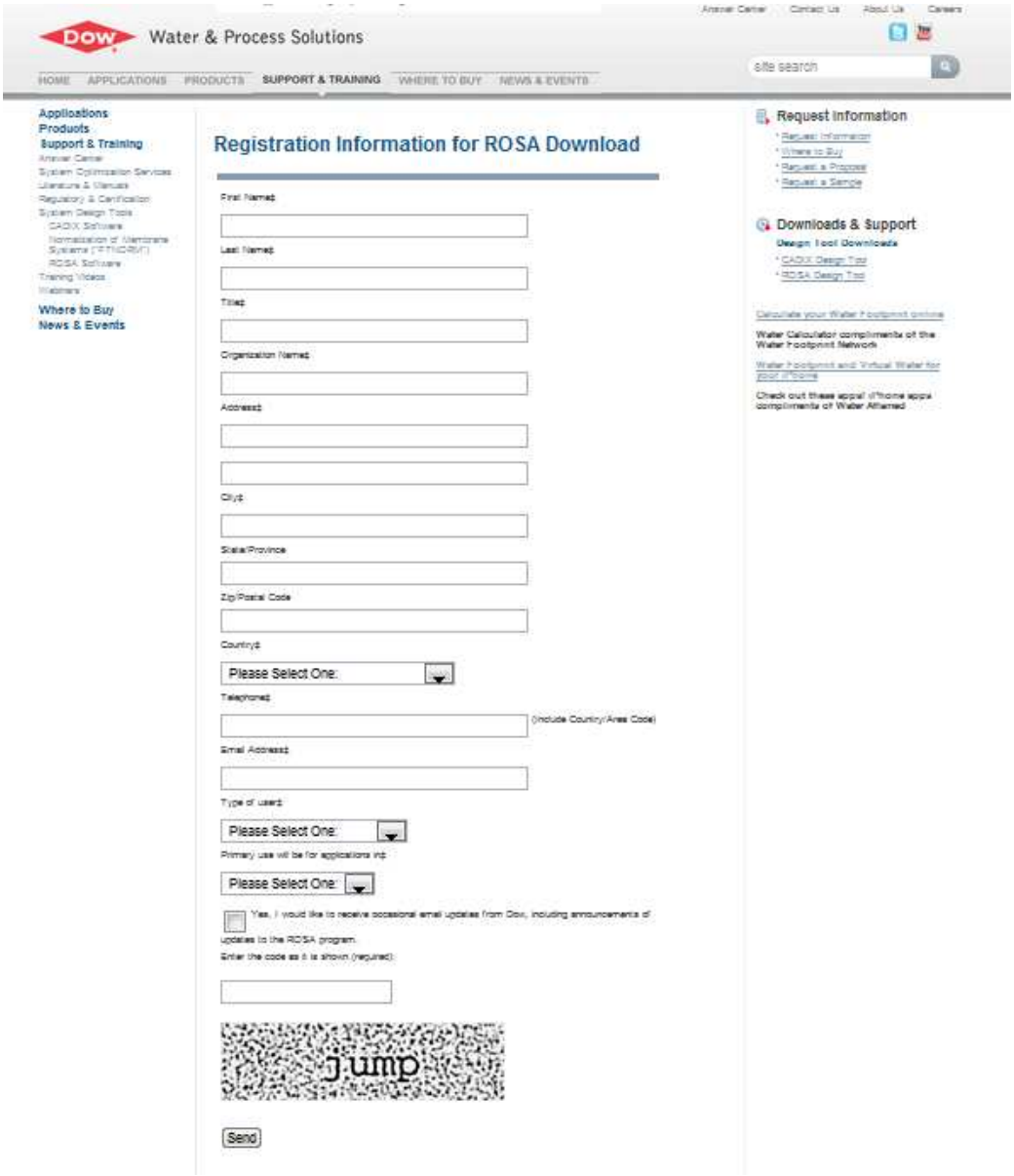


Figura 4.2: Página de registro

En la página de registro, el usuario deberá introducir sus datos personales en los cuadros de texto. Los campos marcados con un símbolo "‡" son campos obligatorios: no será posible efectuar el registro si no son rellenados. Los campos a rellenar son, de arriba a abajo:

- "First Name ‡": Nombre de pila del usuario.
- "Last Name ‡": Apellido del usuario.
- "Title‡": Título del usuario: Dr (Doctor), Mr (Señor) o Mrs (Señora).

- "Organization Name ‡": Nombre de la empresa u organización en la cual se hará uso del programa.
- "Adress ‡": Dirección del usuario o de la empresa.
- "City ‡": Ciudad.
- "State/Province": Provincia o región a la cual pertenece la ciudad introducida en el cuadro anterior.
- "Zip/Postal Code": Código postal.
- "Country ‡": País. Este campo consiste en una ventana desplegable en la cual el usuario deberá seleccionar el suyo.
- "Telephone ‡": Teléfono. Hay que incluir los prefijos de país y de región.
- "Email Address ‡": Dirección de correo electrónico.
- "Type of user ‡": Tipo de usuario. Este campo consiste en una ventana desplegable, que presenta el aspecto que se muestra en la figura 4.3:

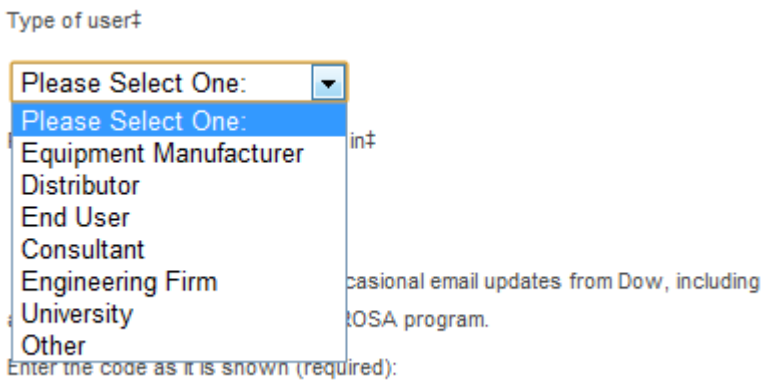


Figura 4.3: Tipos de usuario

Los tipos de usuarios disponibles son, de arriba a abajo:

-"Equipment Manufacturer" -> Fabricante de Equipos.

-"Distributor" -> Distribuidor.

-"End User" -> Usuario Final.

-"Consultant" -> Asesoría.

-"Engineering Firm" ->Empresa de Ingeniería.

-"University" -> Universidad.

-"Other" -> Otro tipo de usuario.

- <u>"Primary use will be for aplications in ‡":</u> En este campo el usuario debe seleccionar el uso principal al que se dedicará el programa. Al clicar sobre la flecha se abrirá una ventana desplegable como la que se muestra en la figura 4.4:

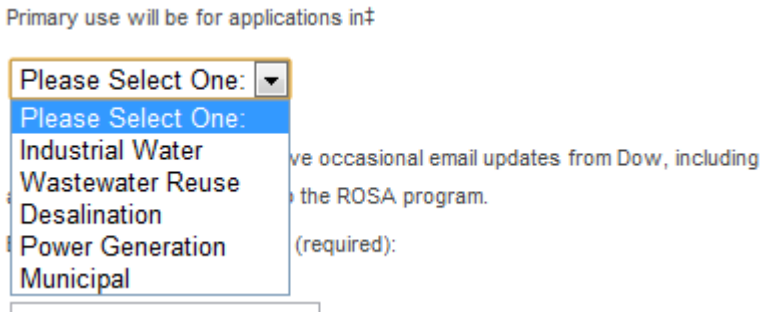


Figura 4.4: Usos principales de ROSA

Las utilidades principales que aparecen en la ventana son, de arriba a abajo:

-"Industrial Water" -> Agua para uso industrial.
-"Wastewater Reuse" -> Reutilización de aguas residuales.
-"Desalination" -> Desalinización de agua.
-"Power Generation" -> Generación de energía.
-"Municipal" -> Uso para fines municipales.

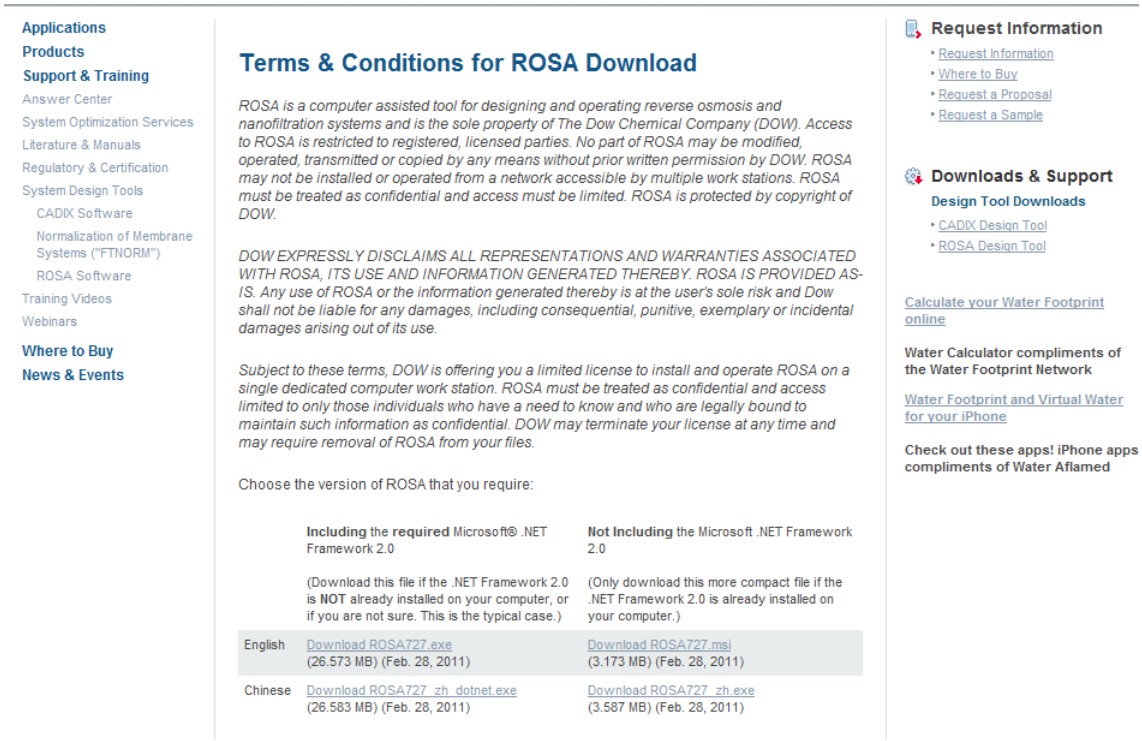
Una vez se han rellenado todos los campos (o al menos los obligatorios), el usuario se encontrará con una casilla, que por defecto se encontrará sin marcar, con un cuadro de texto de verificación y un botón de "Send". Este conjunto presenta el aspecto que se muestra en la figura 4.5:

Figura 4.5: Parte final del registro de usuario

Al marcar la casilla, el usuario da su consentimiento para que Dow mande correos electrónicos a su dirección. El usuario tiene la libertad de marcarla o dejarla desactivada.

Debajo de la casilla se encuentra un cuadro de texto, en el que el usuario debe introducir el código que se muestra más abajo (en el caso mostrado en la figura 4.5, el usuario debería escribir la palabra “jump”).

En la parte inferior se encuentra el botón “Send” (Enviar), que el usuario deberá pulsar cuando haya rellenado correctamente todos los campos y casillas. Una vez pulse el botón de “Send”, el usuario habrá completado su registro, y el navegador lo conducirá a la página de Términos y Condiciones para descargar ROSA, que se muestra en la figura 4.6:



Applications
Products
Support & Training
Answer Center
System Optimization Services
Literature & Manuals
Regulatory & Certification
System Design Tools
CADIX Software
Normalization of Membrane Systems ("FTNORM")
ROSA Software
Training Videos
Webinars
Where to Buy
News & Events

Terms & Conditions for ROSA Download

ROSA is a computer assisted tool for designing and operating reverse osmosis and nanofiltration systems and is the sole property of The Dow Chemical Company (DOW). Access to ROSA is restricted to registered, licensed parties. No part of ROSA may be modified, operated, transmitted or copied by any means without prior written permission by DOW. ROSA may not be installed or operated from a network accessible by multiple work stations. ROSA must be treated as confidential and access must be limited. ROSA is protected by copyright of DOW.

DOW EXPRESSLY DISCLAIMS ALL REPRESENTATIONS AND WARRANTIES ASSOCIATED WITH ROSA, ITS USE AND INFORMATION GENERATED THEREBY. ROSA IS PROVIDED AS-IS. Any use of ROSA or the information generated thereby is at the user's sole risk and Dow shall not be liable for any damages, including consequential, punitive, exemplary or incidental damages arising out of its use.

Subject to these terms, DOW is offering you a limited license to install and operate ROSA on a single dedicated computer work station. ROSA must be treated as confidential and access limited to only those individuals who have a need to know and who are legally bound to maintain such information as confidential. DOW may terminate your license at any time and may require removal of ROSA from your files.

Choose the version of ROSA that you require:

	Including the **required** Microsoft® .NET Framework 2.0	**Not Including** the Microsoft .NET Framework 2.0
	(Download this file if the .NET Framework 2.0 is **NOT** already installed on your computer, or if you are not sure. This is the typical case.)	(Only download this more compact file if the .NET Framework 2.0 is already installed on your computer.)
English	Download ROSA727.exe (26.573 MB) (Feb. 28, 2011)	Download ROSA727.msi (3.173 MB) (Feb. 28, 2011)
Chinese	Download ROSA727_zh_dotnet.exe (26.583 MB) (Feb. 28, 2011)	Download ROSA727_zh.exe (3.587 MB) (Feb. 28, 2011)

Request Information
Request Information
Where to Buy
Request a Proposal
Request a Sample

Downloads & Support
Design Tool Downloads
CADIX Design Tool
ROSA Design Tool

Calculate your Water Footprint online

Water Calculator compliments of the Water Footprint Network

Water Footprint and Virtual Water for your iPhone

Check out these apps! iPhone apps compliments of Water Aflamed

Figura 4.6: Página de términos y condiciones

En esta página se muestran los términos y condiciones que el propietario del software (Dow Chemical) establece para el uso del programa. Entre ellas, hay que destacar:

- ROSA está protegida por derechos de autor por Dow.
- El acceso a ROSA se restringe a usuarios registrados y con licencia.
- Ninguna parte de ROSA podrá ser modificada, transmitida o copiada sin consentimiento previo por escrito de Dow.
- ROSA debe tratarse como confidencial, y su acceso debe ser restringido.
- Cualquier uso o información obtenido por ROSA será responsabilidad exclusiva del usuario: Dow no se hará responsable de posibles daños o perjuicios que surgieran de su uso.
- Dow ofrece una licencia limitada para el uso de ROSA, y se reserva el derecho a finalizarla cuando estime oportuno.

Debajo de los términos y condiciones se encuentra una tabla en la que el usuario deberá seleccionar la versión de ROSA 7.2.7 que desea instalar. Esta tabla se muestra en la figura 4.7:

	Including the **required** Microsoft® .NET Framework 2.0 (Download this file if the .NET Framework 2.0 is **NOT** already installed on your computer, or if you are not sure. This is the typical case.)	**Not Including** the Microsoft .NET Framework 2.0 (Only download this more compact file if the .NET Framework 2.0 is already installed on your computer.)
English	Download ROSA727.exe (26.573 MB) (Feb. 28, 2011)	Download ROSA727.msi (3.173 MB) (Feb. 28, 2011)
Chinese	Download ROSA727_zh_dotnet.exe (26.583 MB) (Feb. 28, 2011)	Download ROSA727_zh.exe (3.587 MB) (Feb. 28, 2011)

Figura 4.7: Tabla de versiones de ROSA

Como se observa en la figura 4.7, ROSA se puede descargar en inglés o en chino. En el caso que se muestra en este manual se descargará la versión en inglés, que corresponde a la fila azul de la figura 4.7.

Una vez se ha decidido el idioma, hay dos opciones:

- Descargar ROSA con Microsoft .NET Framework 2.0 (26,57 MB).
- Descargar ROSA sin Microsoft .NET Framework 2.0 (3,17 MB).

Si el usuario no sabe si ya tiene instalado Microsoft .NET Framework 2.0 se recomienda seleccionar la primera opción de descarga.

Así pues, llegado a este punto el usuario clicará sobre el enlace “Download ROSA727.exe”, de forma que se iniciará automáticamente la descarga del archivo.

4.1.2 Instalación de ROSA

Una vez se haya descargado el programa ROSA, el usuario dispondrá del archivo ROSA727.exe. Al ejecutar dicho archivo, se abrirá una ventana como la que se muestra en la figura 4.8:

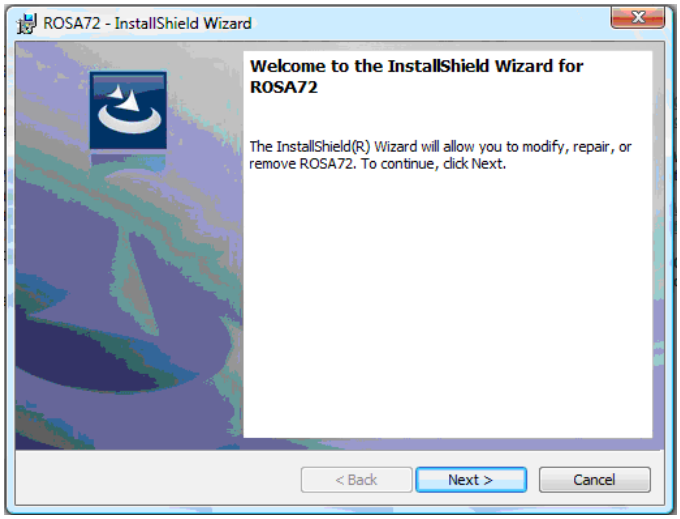


Figura 4.8: Ventana inicial de instalación de ROSA

Para continuar con la instalación, el usuario deberá pulsar el botón “Next”. Esto le conducirá a la siguiente ventana, que se muestra en la figura 4.9:

Figura 4.9: Ventana del acuerdo de licencia

En dicha ventana se muestran los términos y condiciones del acuerdo de licencia, que el usuario deberá leer. Para continuar con la instalación, tendrá que marcar la casilla “I accept the terms in the license agreement” (Acepto los términos del acuerdo de licencia). Una vez marcada dicha casilla, se desbloqueará el botón “Next”, que conducirá a la siguiente ventana de instalación.

Clicando sobre el botón “Print”, se enviarán los términos y condiciones a imprimir en la impresora que se encuentre activa en ese momento.

En esta ventana, y en cualquier otra a lo largo de la instalación, pulsar el botón “Back” conducirá a la ventana de instalación anterior.

Si se pulsa el botón “Next”, como ya se ha comentado, se accederá a la tercera ventana de instalación, que presenta el aspecto que se muestra en la figura 4.10:

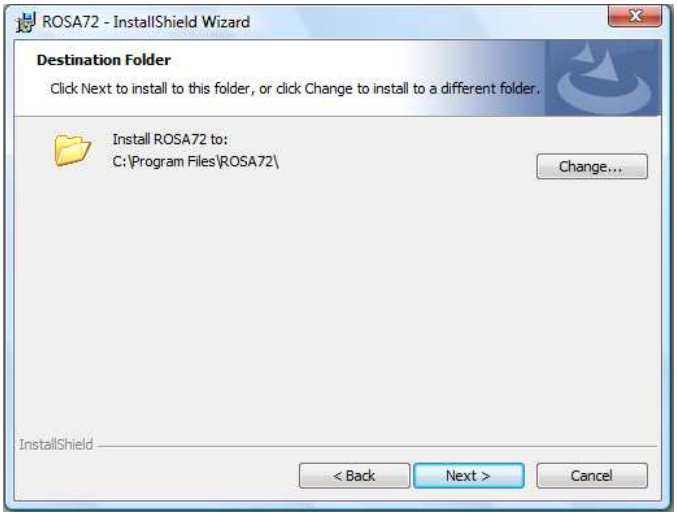


Figura 4.10: Ventana de selección de carpeta de destino

La función de esta ventana es que el usuario seleccione la carpeta en la que se instalará el programa ROSA. Esta carpeta, por defecto se encuentra situada en C:\Archivos de Programa\ROSA72\, y es recomendable mantenerla en esa ruta. En caso de que el usuario desee cambiarla, pulsando el botón “Change”

se abrirá un explorador en el que podrá navegar hasta seleccionar la ruta que prefiera.

Una vez indicada la carpeta en la cual se desea instalar el programa, el usuario deberá clicar sobre el botón “Next”, que le conducirá a una ventana como la que se muestra en la figura 4.11:

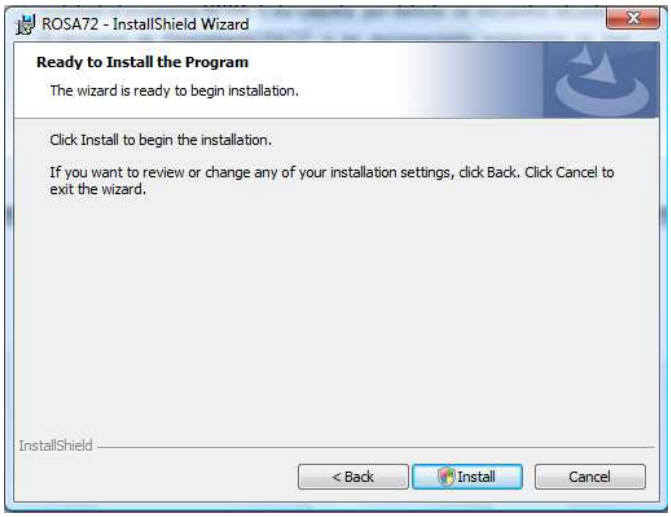


Figura 4.11: Ventana de confirmación

En dicha ventana, el usuario deberá confirmar que desea instalar el programa, para lo cual tendrá que pulsar el botón “Install”. En caso de que desee realizar algún cambio en cualquiera de las ventanas previas, deberá pulsar la tecla “Back”. Una vez pulse “Install” (se requerirán privilegios de administrador), el programa comenzará a instalarse, como se muestra en la figura 4.12:

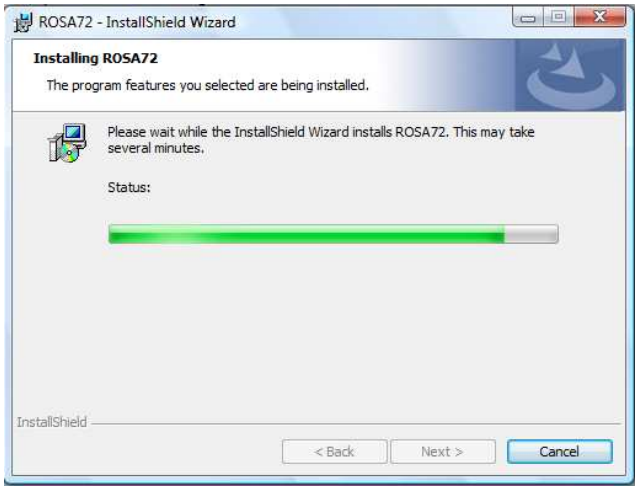


Figura 4.12: Instalación de ROSA

Una vez la barra de instalación se complete, la instalación de ROSA habrá terminado, y aparecerá una ventana como la mostrada en la figura 4.13:

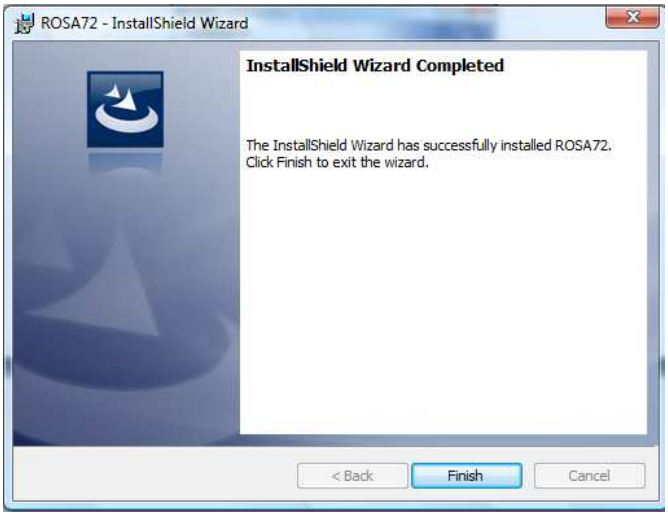


Figura 4.13: Ventana de notificación

Esta ventana consiste simplemente en una notificación al usuario en la cual se le comunica que ROSA ha sido instalado correctamente. Para terminar con la instalación, deberá pulsar el botón “Finish”.

En este momento, el usuario ya podrá ejecutar el programa ROSA, bien sea buscándolo en la lista de programas de Windows, o mediante un acceso directo en el escritorio.

4.2 Variables de interés en ROSA

En este apartado se explicarán las principales variables y parámetros que afectan al funcionamiento de un sistema de ósmosis inversa, y particularmente, a todos aquellos que se utilizan en el programa ROSA.

4.2.1 Presión, Temperatura y Flujos

La presión, la temperatura y los distintos tipos de flujos son variables de gran importancia en el funcionamiento de un sistema de ósmosis inversa, y por tanto es necesario controlarlos y optimizarlos lo mejor posible.

Como se verá a continuación, en ROSA se utilizan como parámetros tres tipos de presiones distintas: la presión de alimentación (“feed pressure”), la contrapresión (“back pressure”), y la presión de impulso (“boost presure”). De igual modo, en una instalación de ósmosis inversa se pueden encontrar varios tipos distintos de flujos, que se describirán con detalle en el apartado 4.2.1.5. En cambio, la temperatura de operación es única, ya que será igual en toda la instalación.

4.2.1.1 Presión de la alimentación

Como ya se explicó en la introducción a la ósmosis inversa (concretamente en el apartado 2.1), la presión que se comunique a la corriente de alimentación es la que permite el paso a través de la membrana de las moléculas de disolvente desde el medio hipertónico al hipotónico. Realmente, como se explicará en el apartado 4.2.1.2, la verdadera fuerza motriz no sólo depende de la presión de alimentación, sino que resulta de la diferencia de presiones a ambos lados de la membrana, junto con la diferencia de presiones osmóticas.

Si se mantienen constantes el resto de las variables de la instalación, un aumento de la presión en la alimentación provocará un aumento del caudal de permeado, que además poseerá una menor concentración de sales (ya que al aumentar el flujo manteniendo el mismo paso de sales, el resultado aparente será el de una dilución del permeado). Si se disminuye la presión en la alimentación, el efecto observado será el contrario: menor caudal de permeado, que además poseerá una mayor concentración de sales.

Sin embargo, hay que tener cuidado a la hora de aumentar la presión de alimentación, ya que la presurización de esta corriente constituye un gran gasto energético, y por tanto, económico. Dicha presión deberá ser la exactamente la necesaria para alcanzar los requisitos establecidos en el diseño.

Además, siempre hay que tener en cuenta el efecto de las demás variables: temperatura, parámetros del agua, parámetros de la membrana… ligeros cambios en estas variables pueden producir grandes variaciones en la presión que se tiene que suministrar a la alimentación para lograr el caudal de permeado deseado. De esto se deduce la gran dificultad de realizar un cálculo fiable y realista de la presión necesaria en la corriente de alimentación, especialmente en sistemas complejos en los que algunos parámetros (como el "Factor de Flujo", explicado en el punto 4.2.3.1) cambian con el tiempo.

Debido a la gran importancia de esta variable, una forma de calcular una instalación mediante ROSA es que se pida al usuario todos parámetros necesarios para su cálculo: se caracteriza completamente el agua de alimentación, la temperatura del sistema, el tipo de membrana que posee cada etapa, se fija el caudal de entrada, el caudal de permeado, etc…y con todos estos datos, el programa calculará la presión que hay que suministrar a la alimentación en esas condiciones especificadas para lograr los objetivos de diseño establecidos. Sin embargo, la presión de alimentación también puede ser una variable fijada: en ese caso, lo que calculará el programa serán los flujos que se consiguen mediante esa presurización en la instalación descrita.

4.2.1.2 Contrapresión

La contrapresión, presión trasera o "back pressure" se refiere a la presión a la que se encuentra el flujo de permeado en una etapa de ósmosis inversa. Así pues, antes de su paso por la membrana (cuando se encuentra en el compartimento de alta presión) el agua presentará la llamada presión de alimentación o "feed pressure" (descrita en el apartado 4.2.1.1). Sin embargo, tras atravesar la membrana, el agua se encontrará en el denominado

compartimento de baja presión, donde su presión habrá caído hasta la llamada contrapresión o “back pressure”.

Como se indicó en el apartado 4.2.1.1, la fuerza impulsora que permite el paso del agua a través de la membrana semipermeable es la diferencia de presiones existente entre la presión de alimentación y la contrapresión, junto con la diferencia de presiones osmóticas entre ambos compartimentos. A esta fuerza impulsora se le denomina NDP: “*Net Driving Pressure*”.

Así pues, al igual que interesan presiones de alimentación altas, parece lógico que se busquen contrapresiones bajas, pero esto no siempre es así, ya que si la instalación presenta varios pasos en serie, lo normal (excepto si se introduce una bomba entre ellos) es que la contrapresión de un paso sea la presión de alimentación del siguiente.

4.2.1.3 Presión de impulso

La presión de impulso o “boost pressure” se refiere a un aumento de presión que se lleva a cabo en un punto de la instalación mediante la instalación de una bomba. Realmente, equivale a una presión de alimentación para la etapa inmediatamente posterior a la bomba, pero ROSA hace una distinción de nombres en función de en qué parte de la instalación se coloque la bomba: si se coloca antes de la entrada a un paso, esa presión se denomina “feed pressure” (presión de alimentación), sin embargo, si la bomba se coloca entre etapas dentro de un mismo paso, esa presión pasa a denominarse “boost pressure” (presión de impulso), tal y como se podrá observar en el apartado 5.2.4.5 de este manual.

4.2.1.4 Temperatura

La temperatura que poseen las corrientes de la instalación también es una variable de gran importancia en los sistemas de ósmosis inversa. La temperatura afecta tanto a la presión osmótica como a la permeabilidad del agua a través de la membrana: normalmente se acepta que el flujo de permeado se incrementa alrededor de un 3 % por cada ºC de incremento de temperatura (ver figura 4.16 en el apartado 4.2.3.1.1). Sin embargo, el paso de

sales también aumenta con la temperatura a la misma tasa que el flujo, por lo que al incrementarse la temperatura a flujo de permeado constante, la calidad del permeado disminuye.

También hay que tener en cuenta los efectos que la temperatura tiene sobre la calidad de las membranas: elevadas temperaturas pueden disminuir el rendimiento de éstas de forma irreversible.

El programa ROSA siempre pedirá al usuario la temperatura a la que se encuentra la corriente de alimentación, y en caso de que no sea fija, pedirá las temperaturas máximas y mínimas. Los efectos de la temperatura se incluyen en un parámetro llamado "Factor de Flujo", que se explica en el apartado 4.2.3.1 de este manual.

A efectos del cálculo de la instalación, en ROSA la temperatura siempre será una variable fijada por el usuario, a diferencia de las presiones o los caudales, que pueden considerarse como variables que el programa debe calcular para lograr los objetivos de diseño marcados.

4.2.1.5 Flujos

En ROSA hay dos tipos diferentes de flujos:

- Caudales ("Flow"): son los más utilizados, e indican volumen por unidad de tiempo (en las unidades seleccionadas en este manual, m^3/h).
  Dentro de estos caudales se encuentran variables de gran importancia en una instalación de ósmosis inversa:

  -"System Feed Flow", que indica el caudal total de agua de alimentación que está entrando al sistema.

  -"Feed Flow", indica el caudal de agua que está entrando al paso seleccionado en ese momento.

-“System Permeate Flow”, que indica el caudal total de permeado que sale del sistema.

-“Permeate Flow”, que indica el caudal de permeado que sale del paso seleccionado en ese momento.

Estos cuatro caudales son los de mayor importancia en ROSA, pero también existen otros, como los caudales de recirculación. Estos caudales se describen en el apartado 5.2.4.3.E de este manual, en el que se indica cómo se crean en la interfaz de ROSA.

Los caudales de la instalación pueden ser fijados por el usuario, en cuyo caso ROSA calculará las presiones necesarias para que en la instalación descrita se produzcan dichos flujos. La otra opción consiste en fijar las presiones, de forma que ROSA calcule los flujos resultantes.

- Flujo específico (“Flux”): este tipo de flujo es menos utilizado que los caudales, e indica volumen por unidad de tiempo y unidad de sección (en las unidades utilizadas en el manual, l/m^2h, o abreviadamente lmh). En ocasiones también se le denomina “Average Flux”, flujo específico medio.

  Como puede deducirse de sus unidades, el flujo específico indica el caudal que permea por unidad de área activa de la membrana (ver apartado 4.2.3.2). Este parámetro será de interés a la hora de decidir la idoneidad de una membrana, pero siempre aparecerá como una variable dependiente: no se puede fijar, y su valor siempre lo darán los cálculos del programa.

4.2.2 Parámetros de calidad del agua

Es evidente que el funcionamiento de un sistema de ósmosis inversa dependerá en gran medida del tipo de agua que esté tratando. Para caracterizar el agua de alimentación, en ROSA se utilizan gran número de parámetros, especialmente en las pestañas principales “2) Feedwater Data” (apartado 5.2.2) y “3) Scaling Information” (apartado 5.2.3). Todos esos parámetros de calidad del agua se explican a continuación:

- ***SDI*:** El SDI (Si*lt Density Index*) es un parámetro que indica el grado de presencia de partículas coloidales en el agua a tratar. Es un parámetro de gran importancia en ROSA, ya que las partículas coloidales son responsables de ensuciamientos y obstrucciones en las membranas, provocando una disminución de su rendimiento.

  El SDI se determina mediante un procedimiento estandarizado y reproducible, ampliamente aceptado en la industria. Con este procedimiento se estima el grado de ensuciamiento de las membranas debido a la contaminación por partículas coloidales presentes en el agua de alimentación.

  El procedimiento consiste en un ensayo, en el que se observa la disminución del flujo a través de un filtro debido al ensuciamiento del mismo, a una presión de la alimentación constante de 30 psi.

  El aparato para medir el SDI se muestra en la figura 4.14, y consiste en un regulador de presión y un portafiltros, en el que se coloca un filtro estandarizado con un tamaño de poro de 0,45 µm, suficiente para ser obstruido por materia coloidal pero no por arena o incrustantes.

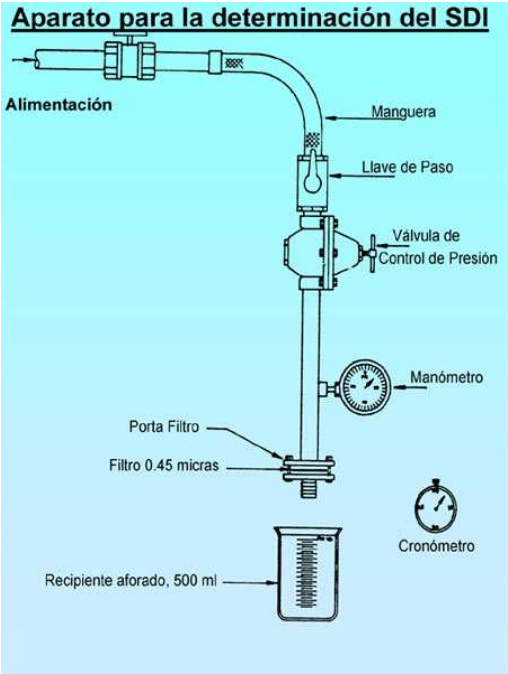


Figura 4.14: Aparato para la determinación del SDI

El ensayo estándar consta de tres partes:

-En la primera, se coloca el filtro limpio en el portafiltros, y se mide el tiempo que tarda en filtrarse 500 ml del agua objeto de estudio, a una presión de 30 psi. Ese tiempo se denominará t_1.

-Tras medir t_1, se deja correr el agua objeto de estudio a través del filtro durante 15 minutos.

-Pasados 15 minutos, se determina nuevamente el tiempo que tarda en filtrarse 500 ml del agua que se está estudiando. Este tiempo se denomina t_2.

Una vez se ha realizado el ensayo, se calcula el SDI mediante la siguiente fórmula:

$$SDI = 100 \cdot \frac{1 - \frac{t_1}{t_2}}{T}$$

Donde:

-t_1 es el tiempo necesario para filtrar 500 ml de muestra, al inicio de la prueba.

-t_2 es el tiempo necesario para filtrar 500 ml de muestra, al final de la prueba.

-T es el tiempo entre mediciones (15 minutos).

Valores de SDI altos indicarán una alimentación con gran cantidad de sustancias coloidales, por lo que interesarán bajos valores de SDI.

El ensayo estándar antes descrito es válido para aguas con valores de SDI no muy altos (5,5 como máximo). Para aguas con SDI más elevados, existen procedimientos modificados. No obstante, por norma general se considera inviable tratar mediante ósmosis inversa aguas que presenten un SDI mayor de 5. En caso de disponer de un agua con un SDI más elevado, será necesario someterla a un tratamiento previo para disminuirlo (mediante coagulación-floculación, ultrafiltración, etc…).

- ***pH*:** El pH es un parámetro que indica la concentración de iones hidronio (H_3O^+, o simplificadamente H^+) presentes en una disolución acuosa. Su valor oscila entre 0 y 14, y se define como:

$$pH = -\log_{10}(a_{H_3O^+})$$

Siendo $a_{H_3O^+}$ la actividad del ión hidronio.

El pH es de gran importancia en un sistema de ósmosis inversa, ya que puede afectar a la calidad y vida útil de la membrana, especialmente si esta es orgánica. Por ejemplo, las membranas de acetato de celulosa deben trabajar en un intervalo de pH comprendido entre 2 y 9 a temperaturas por encima de 35 ºC, ya que se degrada con facilidad.

Los valores de pH han de ser referidos a la temperatura de medición, ya que varían con ella. Cuanto mayor sea la temperatura a la que se encuentre la alimentación, menor rango de pH soporta la membrana.

Además, el valor del pH condiciona la formación o desaparición de especies que resultarían perjudiciales para el proceso, como puede ser el $CaCO_3$ (ver parámetro LSI).

- ***TDS*:** el TDS (*Total Dissolved Solids*), en español SDT (*Sólidos Disueltos Totales*) es un parámetro que indica la concentración (en mg/l) de todos los sólidos que se encuentren disueltos en el agua. Se determina mediante la evaporación de un volumen de agua previamente filtrada.

- ***LSI*:** El LSI (*Langelier Saturation Index*) indica el grado de saturación del agua con respecto al carbonato cálcico ($CaCO_3$), correlacionándolo con el pH como variable principal. El pH influye en los equilibrios:

$$H_2CO_3 \rightleftarrows HCO_3^- + H^+$$

$$HCO_3^- \rightleftarrows CO_3^{2-} + H^+$$

A pH bajo, los carbonatos e hidrogenocarbonatos pasarán a ácido carbónico, por lo que no habrá riesgo de deposiciones ni precipitaciones de $CaCO_3$ (o lo que es lo mismo, el agua no presentará propiedades incrustantes). En cambio, la elevada concentración de H_2CO_3 provocará que el agua presente características corrosivas.

Por el contrario, a pH elevados, habrá gran concentración de CO_3^{2-}, y muy poco ácido carbónico, por lo que el agua no tendrá propiedades corrosivas. No obstante, los carbonatos tenderán a combinarse con los Ca^{2+} para formar $CaCO_3$. Este carbonato cálcico podría llegar a precipitar al alcanzar una concentración dada (marcada por su equilibrio

de solubilidad), provocando deposiciones y dando al agua lo que se conoce como condiciones incrustantes.

La fórmula para calcular el LSI es la siguiente:

$$LSI = pH - pH_s$$

Siendo:

-pH = pH medido en el agua.

-pH_s = pH de saturación en $CaCO_3$, que se calcula mediante la fórmula:

$$pH_s = (9,3 + A + B) - (C + D)$$

Con:

-A = (Log_{10} [TDS] - 1) / 10

-B = -13.12 · Log_{10} (T(K)) + 34.55

-C = Log_{10} [Ca^{2+} en forma de $CaCO_3$] - 0.4

-D = Log_{10} [Alcalinidad Total Carbonatada]

Todos los parámetros que se encuentran entre corchetes corresponden a concentraciones, medidas en ppm. La Alcalinidad Total Carbonatada se refiere a las ppm de carbonatos que se encuentran libres, de forma que actúan como bases, alcalinizando el agua.

Como se observa en las fórmulas anteriores, el LSI se ve afectado por el pH, el TDS, la temperatura y las concentraciones de carbonatos, tanto libres como unidos al catión Ca^{2+}. Así se deduce que:

-Un agua con un LSI de cero corresponderá a un agua en condiciones óptimas de estabilidad: ni corrosiva ni incrustante.

-Un agua con un LSI positivo corresponderá a un agua con propiedades incrustantes, en la que se darán precipitaciones y deposiciones de carbonato cálcico.

-Un agua con un LSI negativo corresponderá a un agua con propiedades corrosivas.

Por ejemplo, un agua con un índice LSI de 1,0 será un agua incrustante a la que una reducción de su pH en una unidad la llevaría a su condición de equilibrio y la haría por lo tanto, no corrosiva ni incrustante. Si por el contrario se tiene un agua con un LSI de -0,85, el índice indicaría que se trata de un agua corrosiva, a la que un aumento de su pH en 0,85 unidades llevaría a su estado óptimo.

No obstante, hay que tener en cuenta que, a efectos prácticos, el LSI puede perfectamente alcanzar valores distintos de cero, siempre y cuando no se alejen en exceso. En aplicaciones de ósmosis inversa, se evitan valores de LSI positivos, y es recomendable que el flujo de rechazo (que es el más concentrado) presente un LSI cercano a -0,2. Esto indica que dicho flujo está a 0,2 unidades de pH por debajo de su estado de equilibrio, por encima del cual comenzaría el riesgo de precipitaciones de carbonato cálcico.

El LSI se utiliza para aguas con un valor bajo de sólidos totales disueltos (TDS). Si el TDS supera los 10000 ppm, será necesario recurrir al “Stiff & Davis Index”.

- ***Ionic Strength*:** o fuerza iónica en castellano. Este parámetro es una función de todos los iones presentes en una disolución, y presenta la fórmula:

$$I_m = \frac{1}{2} \cdot \sum_{B=1}^{n} m_B \cdot z_B^2$$

Siendo:

-I_m = Fuerza iónica molal.

-B = iones presentes en la disolución.

-n = número total de iones presentes en la disolución.

-m_B = concentración molal del ión B en la disolución.
-z_B = carga del ión B.

Es de esperar que cuanto mayor sea la concentración de iones presentes en una disolución (TDS elevado), mayor sea también el parámetro de la fuerza iónica.

- ***Stiff & Davis Index (S&DSI)*:** el "Stiff & Davis Index" es un parámetro que mide el grado de saturación del agua con respecto al carbonato cálcico, al igual que hace el LSI.

  Este índice trata de corregir las deficiencias que presenta el LSI a elevados valores de TDS. Generalmente se acepta la siguiente división:

  -Utilizar el LSI para valores de TDS < 10000 ppm (generalmente aguas salobres).
  -Utilizar el Stiff & Davis Index para valores de TDS > 10000 ppm (normalmente aguas marinas).

  Por lo demás, este parámetro funciona de igual forma que el LSI: indica la variación de pH que hay que realizar para llevar al agua a su situación de equilibrio respecto del $CaCO_3$:

  -Aguas con un S&DSI negativo serán aguas corrosivas, a las que un aumento de pH llevará a su estado de equilibrio. Por ejemplo: un agua con un S&DSI de -1,5 requerirá un aumento de 1,5 unidades de pH para llegar a su condición óptima respecto al $CaCO_3$.

  -Aguas con un S&DSI positivo serán aguas incrustantes, a las que una disminución de pH llevará a su estado de equilibrio. Por ejemplo: un agua con un S&DSI de 2 requerirá una disminución de 2 unidades de pH para llegar a su condición óptima respecto al $CaCO_3$.

En aplicaciones de ósmosis inversa, el criterio a la hora de escoger un S&DSI apropiado es el mismo que para el LSI: se buscan valores de S&DSI ligeramente negativos en la corriente de rechazo (de aproximadamente -0,2), de forma que se evite la precipitación de carbonato cálcico.

- ***HCO3 (mg/l):*** Este parámetro indica la concentración en mg/l de los aniones hidrogenocarbonato (HCO_3^-) en una corriente dada. Como se avanzó en la descripción del parámetro LSI, el HCO_3^- forma un equilibrio con el CO_2 y el CO_3^{2-} que se ve fuertemente afectado por el pH del medio, como se recuerda en la figura 4.15:

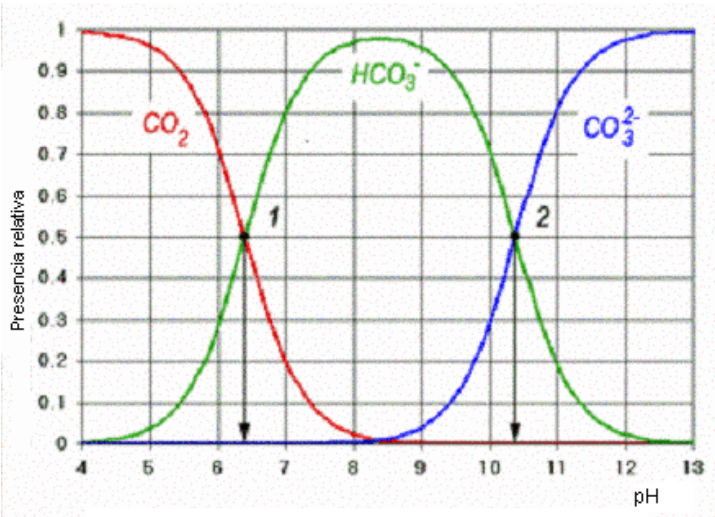


Figura 4.15: Formas de carbono inorgánico a diferentes pH

- ***CO2 (mg/l):*** Este parámetro indica la concentración en mg/l de CO_2 disuelto en una corriente dada. El CO_2 es un gas relativamente soluble, producto de la hidrólisis del H_2CO_3, según la reacción:

$$H_2CO_3 \leftrightarrow CO_2 + H_2O$$

A efectos prácticos, en ROSA se englobará todo el H_2CO_3 y el CO_2 dentro del parámetro “CO2 (mg/l)”.

A su vez, el H_2CO_3 también se hidroliza formando iones HCO_3^- y CO_3^{2-} en función del pH del agua, como se observa en la figura 4.15.

El CO_2 es un gas que da al agua propiedades corrosivas, por lo que es bastante común eliminarlo mediante desgasificación.

- ***CO3 (mg/l):*** Este parámetro indica la concentración en mg/l de los aniones carbonato (CO_3^{2-}). La presencia o ausencia de CO_3^{2-} en un agua dependerá del pH al que se encuentre ésta, como se observa en la figura 4.15.

  Además, los aniones CO_3^{2-} reaccionan con los cationes Ca^{2+} para formar carbonato cálcico, que puede resultar peligroso para la instalación debido a su insolubilidad en agua (véase descripción del LSI).

- ***CaSO4 (% Saturation):*** Este parámetro indica la concentración de $CaSO_4$. Esta concentración se indica con respecto a su concentración de saturación, que es a partir de la cual el $CaSO_4$ comenzaría a precipitar. Así pues, es recomendable mantener bajos porcentajes de saturación. En aguas con gran cantidad de Ca^{2+} y SO_4^{2-} se recomienda su pretratamiento mediante intercambio iónico para evitar posibles precipitaciones.

- ***BaSO4 (% Saturation):*** Parámetro análogo al $CaSO_4$ (% Saturation), pero referido al $BrSO_4$. Su reducción se consigue mediante su tratamiento con intercambio iónico.

- ***SrSO4 (% Saturation):*** Parámetro análogo al $CaSO_4$ (% Saturation), pero referido al $SrSO_4$. Su reducción se consigue mediante su tratamiento con intercambio iónico.

- ***CaF2 (% Saturation):*** Parámetro análogo al $CaSO_4$ (% Saturation), pero referido al CaF_2. Su reducción se consigue mediante su tratamiento con intercambio iónico.

- ***SiO2 (% Saturation):*** Parámetro análogo al $CaSO_4$ (% Saturation), pero referido al SiO_2. La sílice se encuentra en el agua disuelta como ácido silícico (SiO_4H_4) y como materia coloidal.

- ***Mg(OH)2 (% Saturation):*** Parámetro análogo al $CaSO_4$ (% Saturation), pero referido al $Mg(OH)_2$. Su reducción se consigue mediante su tratamiento con intercambio iónico.

4.2.3 Parámetros de la membrana

Junto todas las variables antes descritas, también hay que tener muy en cuenta el estado y funcionamiento de la membrana semipermeable. ROSA dispone de una amplia base de datos con diferentes membranas de FilmTec (ver Anexo II) y es evidente que cada una de estas membranas presentará unas características propias. Sin embargo, hay que tener en cuenta que todas las membranas sufrirán efectos comunes, como el ensuciamiento o el envejecimiento, por lo que también se han creado parámetros (como el factor de flujo) para incluir estos fenómenos en el funcionamiento del programa.

4.2.3.1 Factor de Flujo

El factor de flujo, flow factor, o simplificadamente FF es una variable muy utilizada en el programa ROSA. Este factor se define como la fracción entre la permeabilidad al agua de una membrana y la de una membrana con el flujo nominal especificado, y su principal utilidad es el cálculo de la presión a la que hay que introducir la alimentación: cuanto menor sea el FF, mayor presión habrá que suministrar a la alimentación.

Así pues, el FF da el rendimiento del flujo que atraviesa una membrana considerando los efectos del ensuciamiento (reversible e irreversible), del envejecimiento debido a la temperatura y del margen de seguridad que se desee aplicar. Anteriormente, al factor de flujo se le conocía como “factor de ensuciamiento”, pero puesto que el ensuciamiento no es la única variable que le afecta, el nombre “factor de flujo” es más apropiado.

Un sistema con un FF de 1 estará funcionando perfectamente con su flujo nominal, y la presión de alimentación se calculará para un sistema con todos sus elementos de membrana funcionando de acuerdo a sus especificaciones para flujo nominal. Esta situación se suele dar en el arranque de grandes sistemas sin ensuciamiento, hasta después de la estabilización.

Después de la puesta en marcha y durante el funcionamiento del sistema, el rendimiento del flujo puede ir disminuyendo, por lo que el FF también irá

bajando y será menor que 1. En esta situación, para mantener el flujo especificado, es necesario variar la presión de la alimentación utilizando el FF que tenga la instalación en ese momento. La brusquedad de la caída del FF respecto del tiempo depende de tres factores:

- El potencial de ensuciamiento del agua de alimentación
- La frecuencia y eficacia de las limpiezas de membrana
- El diseño del sistema

Normalmente, la dependencia del FF con el tiempo no es lineal, sino que la mayoría de la pérdida de flujo ocurre en el transcurso del primer año de operación.

4.2.3.1.1 Dependencia del Factor de Flujo con la temperatura

Puesto que la permeabilidad del agua en la membrana aumenta con la temperatura, si se aumenta la temperatura de la corriente de alimentación, para obtener un mismo flujo su presión deberá ser menor. Así pues, un aumento de la temperatura puede compensar la disminución del FF. A estos efectos, ROSA incluye un factor de corrección de temperatura, llamado TCF (“Temperature Correction Factor”).

No obstante, también hay que tener en cuenta que para el tratamiento de agua marina a elevadas temperaturas, se puede producir una progresiva compactación de la membrana, reduciendo su permeabilidad. ROSA tiene en cuenta estos dos efectos a la hora de calcular la presión de alimentación: tanto el aumento de permeabilidad del agua como la compactación de la membrana.

Parte de la compactación que sufren las membranas con agua marina a elevadas temperaturas es irreversible. El programa también tiene en cuenta este hecho, para lo cual ha implementado una función de histéresis que tiene en cuenta la temperatura más elevada a la que la

membrana va a ser sometida durante la operación. Esto es así porque las membranas presentan un efecto memoria: el rendimiento del flujo a una temperatura dada es siempre menor que el esperado si antes la membrana ha sido sometida a una temperatura mayor.

En la figura 4.16 se puede observar el efecto de la temperatura en la presión de alimentación de una típica planta de desalación de agua marina. Al tratarse de agua del mar, el programa calculará la relación presión-temperatura teniendo en cuenta tanto el aumento de la permeabilidad del agua como los efectos de compactación de la membrana, reversibles e irreversibles.

En primer lugar se evalúan dos sistemas sin histéresis: uno con FF=1 (línea azul oscura) y otro con FF=0,8 (línea rosa). Para cualquier temperatura se observa que el sistema con FF=1 necesita menor presión de alimentación. En cuanto a la relación de la presión con la temperatura, en ambos se ve un claro descenso en la presión de alimentación conforme aumenta su temperatura. Este descenso es más acusado en tramos de temperatura bajos, y va perdiendo pendiente hasta estabilizarse en temperaturas del orden de los 45 ºC.

También se ilustra un ejemplo con histéresis: el sistema representado por una línea amarilla tiene marcada una temperatura máxima de trabajo de 45 ºC, mientras que el sistema de la línea azul clara tiene marcada como histéresis una temperatura máxima de 30 ºC. En este caso las membranas de ambos sistemas ya han estado expuestas a temperaturas elevadas antes de realizar el ensayo: a 45 ºC y a 30 ºC respectivamente. En la figura 4.16 se observa claramente el efecto irreversible de la compactación de la membrana: el sistema que ha sido sometido previamente a 45 ºC necesita en todo momento una mayor presión en la alimentación para cualquier temperatura que aquel que fue sometido a una temperatura de 30 ºC.

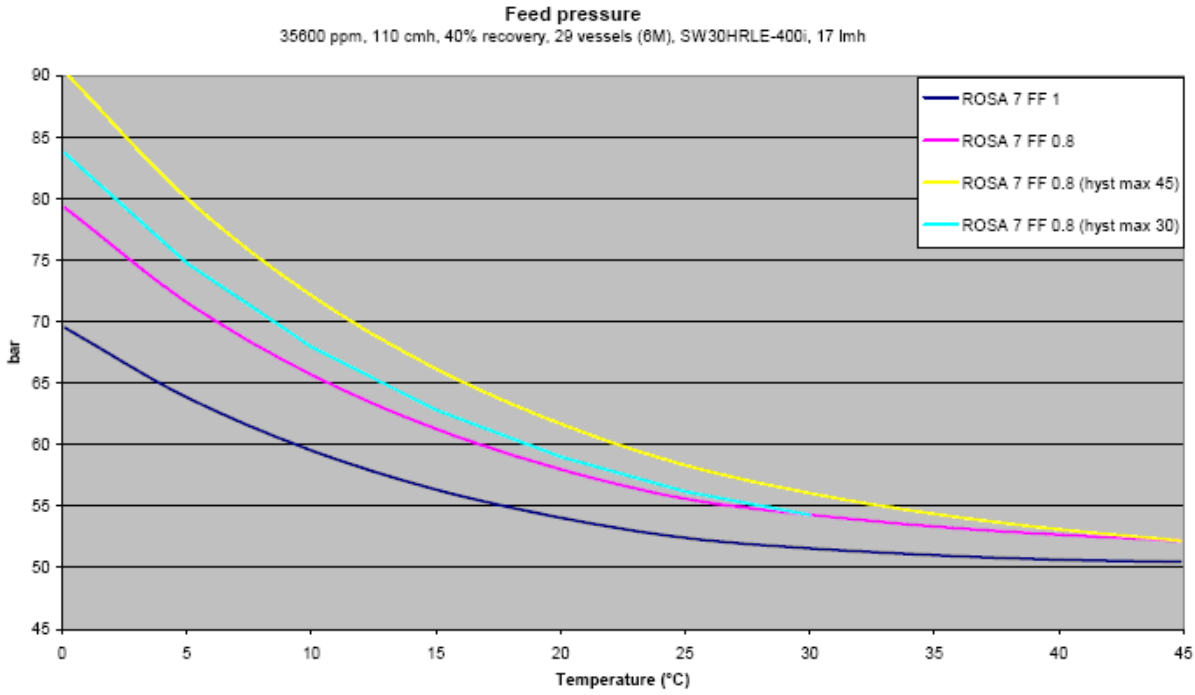


Figura 4.16: Presión de alimentación frente a temperatura para distintos sistemas

4.2.3.1.2 Elección del Factor de Flujo

A la hora de estudiar el comportamiento de una instalación de ósmosis inversa mediante ROSA (modo discontinuo), se requiere la introducción de dos factores de flujo, cada uno de los cuales corresponde a una situación extrema, de forma que el programa conozca perfectamente los límites de FF en los que se va a mover la instalación:

- El mayor FF corresponde a la puesta en marcha del sistema con las membranas limpias. Si a este FF se le da el valor de 1, el usuario se encontrará ante uno de los sistemas más exigentes. En ese caso hay que combinar el FF=1 con la máxima temperatura de la alimentación, el máximo de TDS (Sólidos Disueltos Totales) en la alimentación y el máximo de recuperación. En estas condiciones la permeabilidad de la membrana al agua es máxima, la presión de alimentación mínima, y se puede observar una tendencia de los elementos de vanguardia a exceder el límite de flujo. Si el sistema diseñado se

comporta bien con estas características, entonces normalmente también funcionará bien a FF más bajos.

- El menor FF corresponde al que se supone que presentará la instalación tras unos tres años de operación. Este FF depende en gran medida de la calidad del agua de alimentación, y hay que combinarlo con la temperatura de alimentación mínima y con una máxima alimentación de TDS (Sólidos Disueltos Totales). En caso de estar en una instalación de tratamiento de agua de mar, también será necesario activar la función de histéresis.
  En la tabla 4.1 se muestran las recomendaciones que da FilmTec para escoger el mínimo FF a mínima temperatura en función del tipo de agua de alimentación, de su pretratamiento y de su SDI:

Tabla 4.1: FF mínimos recomendados

Tipo de Agua de alimentación	**Pretratamiento**	**SDI**	**Factor de Flujo**
Permeado de OI	-		0.80
Salobre de superficie	Pretratamiento convencional	<5	0.65
	Pretratamiento de MF/UF	<3	0.70
Salobre de pozo	-	<3	0.75
Marina capturada mediante toma abierta en el mar	Pretratamiento convencional	<5	0.65
	Pretratamiento MF/UF	<3	0.70
Marina capturada mediante pozo en la playa	-	<3	0.70
Residual reutilizada	Pretratamiento convencional	<5	0.55
	Pretratamiento MF	<3	0.60
	Pretratamiento UF	<3	0.65

Las siglas utilizadas en la tabla son: OI (Ósmosis Inversa), MF (Microfiltración) y UF (Ultrafiltración).

Hay que tener en cuenta de que los valores recomendados de FF sólo son orientativos. El diseño será aceptable si el printout de ROSA no indica advertencias bajo dichas condiciones.

Así pues, la presión de alimentación calculada con FF=1 será la esperada para la puesta en marcha del sistema con membranas limpias, mientras que la presión de alimentación calculada con el FF más bajo será la correspondiente a la máxima presión que se debería registrar en unos tres años de operación. Ésta será la presión máxima que la bomba deba suministrar para lograr los objetivos de diseño en todas las condiciones, incluyendo las condiciones normales de ensuciamiento.

4.2.3.2 Área Activa

El área activa de una membrana de ósmosis inversa es la superficie a través de la cual se produce el paso del flujo de permeado, que va desde el compartimento de alta presión al de baja presión. Conocer el área activa exacta de una membrana es de gran importancia, razón por la cual los fabricantes de elementos para ósmosis inversa incluyen su área activa en las especificaciones de la membrana.

Como se indicó en el apartado 4.2.1.5, mediante el área activa y el caudal de permeado que atraviesa la membrana, ROSA calcula el “Average Flux”, es decir, el flujo específico medio que atraviesa dicha membrana en l/m^2h.

4.2.3.3 Porcentaje de Rechazo de Sales

El porcentaje de rechazo de sales, en ROSA “Rejection %”, es un parámetro de gran importancia a la hora de evaluar una membrana, ya que indica la calidad con la que ésta es capaz de separar el agua de las sales disueltas.

Realmente, una membrana de ósmosis inversa nunca es capaz de eliminar por completo las sales disueltas, sino que el permeado siempre tendrá una pequeña concentración de éstas. El parámetro “Rejection” da una medida de cómo de eficaz es una membrana a la hora de impedir el paso de los sólidos disueltos, ya que indica el porcentaje de sales que son rechazadas en su paso a través de la membrana.

Según Dow Water Solutions, el porcentaje de rechazo de sales se define como:

$$\%\,\mathrm{Re}\,chazo = \frac{Conc_f - Conc_p}{Conc_f} \cdot 100$$

Siendo:

- $Conc_p$ la concentración de la sal genérica M_aX_b en el permeado, es decir: $[M_aX_b]_{permeado}$.

- $Conc_f$ la concentración de la sal genérica M_aX_b en la alimentación multiplicada por un factor que depende del porcentaje de recuperación de la membrana, tal y como se muestra en la siguiente fórmula:

  $$Conc_f = [M_a X_b]_{alimentación} \cdot \frac{\ln(\frac{1}{1-\mathrm{Re}\,c})}{\mathrm{Re}\,c}$$

  Siendo Rec el porcentaje de recuperación o “Recovery” de la membrana, definido en el apartado 4.2.3.4 de este manual.

A pesar de que el agua de alimentación real que hay que tratar en una planta de ósmosis inversa posee gran cantidad de iones disueltos, gases y sustancias coloidales en suspensión, el cálculo del porcentaje de rechazo de sales para una membrana determinada se realiza utilizando una disolución de una única sal (en las fórmulas anteriores presentada como M_aX_b) en agua. Esta sal suele ser el NaCl, ya que está demostrado que las membranas de ósmosis inversa rechazan peor los iones monovalentes como el Na^+ y el Cl^- que los divalentes. En todo caso, el fabricante debe siempre especificar qué compuesto ha utilizado para el cálculo del porcentaje de rechazo de sales, así como la concentración del agua utilizada como alimentación.

En la figura 4.17 se muestra un ejemplo en el que especifican las características más importantes de una parte del catálogo de membranas de FilmTec. En dicha figura se han recuadrado de rojo las tres columnas que

indican información referida al porcentaje de rechazo de sales: “Rejection(%)”, que es el valor calculado para dicho parámetro, “Conc(ppm)”, que se refiere a la concentración de la alimentación con la cual se calculó el parámetro anterior, y “Salt”, que indica qué compuesto iónico se empleó en dicho ensayo.

Element	Active Area	Pressure	Flow	Rejection(%)	Conc(ppm)	Salt	Recovery(%)
SW30HR-380	380 (35.3)	800 (55.2)	6,000 (23)	99.7	32000	NaCl	8
SW30HRLE-440i	440 (40.9)	800 (55.2)	8,200 (31.0)	99.80	32000	NaCl	8
SW30HRLE-400i	400 (37.2)	800 (55.2)	7,500 (28.4)	99.80	32000	NaCl	8
SW30HRLE-400	400 (37.2)	800 (55.2)	7,500 (28.4)	99.80	32000	NaCl	8
SW30HRLE-370/34i	370 (34.4)	800 (55.2)	6,700 (25.4)	99.80	32000	NaCl	8
SW30HR-370/34i	370 (34.4)	800 (55.2)	6,300 (23.8)	99.75	32000	NaCl	8
SW30XLE-440i	440 (40.9)	800 (55.2)	9,900 (37.5)	99.75	32000	NaCl	8
SW30XLE-400i	400 (37.2)	800 (55.2)	9,000 (34.1)	99.75	32000	NaCl	8
SW30ULE-440i	440 (40.9)	800 (55.2)	12,000 (45.4)	99.70	32000	NaCl	8
SW30ULE-400i	400 (37.2)	800 (55.2)	11,000 (41.6)	99.7	32000	NaCl	8
NF90-4040	82 (7.6)	70 (4.8)	2,000 (7.6)	97.0	2000	MgSO4	15
NF270-4040	82 (7.6)	70 (4.8)	2,500 (9.5)	97.0	2000	MgSO4	15
NF90-2540	28 (2.6)	70 (4.8)	700 (2.6)	97.0	2000	MgSO4	15

Figura 4.17: Especificaciones de membranas de FilmTec

No obstante, hay que tener en cuenta que el porcentaje de rechazo de sales indicado por el fabricante no va a corresponder con el que se verificará en la instalación, ya que como es evidente, las condiciones y el agua de alimentación en ésta no van a ser iguales a las del ensayo del laboratorio. ROSA utiliza información específica del sistema descrito por el usuario, de forma que proporciona una visión real de lo que se puede esperar de los elementos de FilmTec a lo largo de su funcionamiento bajo las condiciones especificadas.

Así pues, el usuario de ROSA no tendrá que preocuparse de posibles variaciones del parámetro de rechazo de sales con el tiempo o al cambiar de condiciones, ya que el programa lo tendrá en cuenta en sus cálculos internos.

4.2.3.4 Porcentaje de recuperación

El porcentaje de recuperación (o “Recovery”) de un elemento, etapa, paso o sistema de ósmosis inversa se define como:

$$\mathrm{Recovery} = 100 \cdot \frac{PermeateFlow}{FeedFlow}$$

Siendo “Permeate Flow” el caudal de permeado y “Feed Flow” el caudal de alimentación, explicados ambos en el apartado 4.2.1.5. Dependiendo de qué porcentaje de recuperación se trate, estos caudales serán diferentes. Por ejemplo, para calcular el “Recovery” de un paso, el “Permeate Flow” será el caudal de permeado total que salga de dicho paso, mientras que el “Feed Flow” corresponderá a la alimentación total que entra al paso en cuestión.

Así pues, el “Recovery” indicará el porcentaje de caudal de alimentación que permea a través de la membrana (o membranas) del sistema escogido. Este parámetro puede referirse al sistema global “System Recovery” o a un paso, etapa o elemento en concreto, en cuyo caso simplemente se denominará “Recovery”.

4.2.4 Parámetros Económicos: el NPV

El NPV (*Net Present Value*), en español VAN (*Valor Actual Neto*) es un parámetro que permite determinar la rentabilidad de un proyecto o de una inversión.

Como su propio nombre indica, el NPV permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto.

La fórmula para calcular el NPV de una inversión es la que sigue:

$$NPV = (\sum_{t=1}^{n} \frac{V_t}{(1+k)^t}) - I_0$$

Siendo:

-V_t los flujos de caja en cada periodo t.

-I_0 el desembolso inicial de la inversión.

-n el número de periodos considerado.

-k el tipo de interés o rentabilidad, fijada por el inversor. Su valor es difícil de establecer, y existen varios criterios para su estimación. Cuanto mayor tipo de interés se fije, se obtendrán menores valores de NPV.

Valores positivos de NPV suponen que la inversión produciría ganancias, mientras que valores negativos de NPV indican que la inversión produciría pérdidas.

Si se toma como ejemplo una inversión en la cual se requiere un desembolso inicial de $50000, y el inversor espera recibir en los siguientes tres años unas cantidades anuales de $15000, $25000 y $38000, con una tasa de interés del 8%, el NPV valdrá $15488, por lo que la inversión reportará beneficios.

5. Interfaz y funcionamiento de ROSA

Al ejecutar el programa ROSA, se abrirá automáticamente una ventana con el aspecto que se muestra en la figura 5.1:

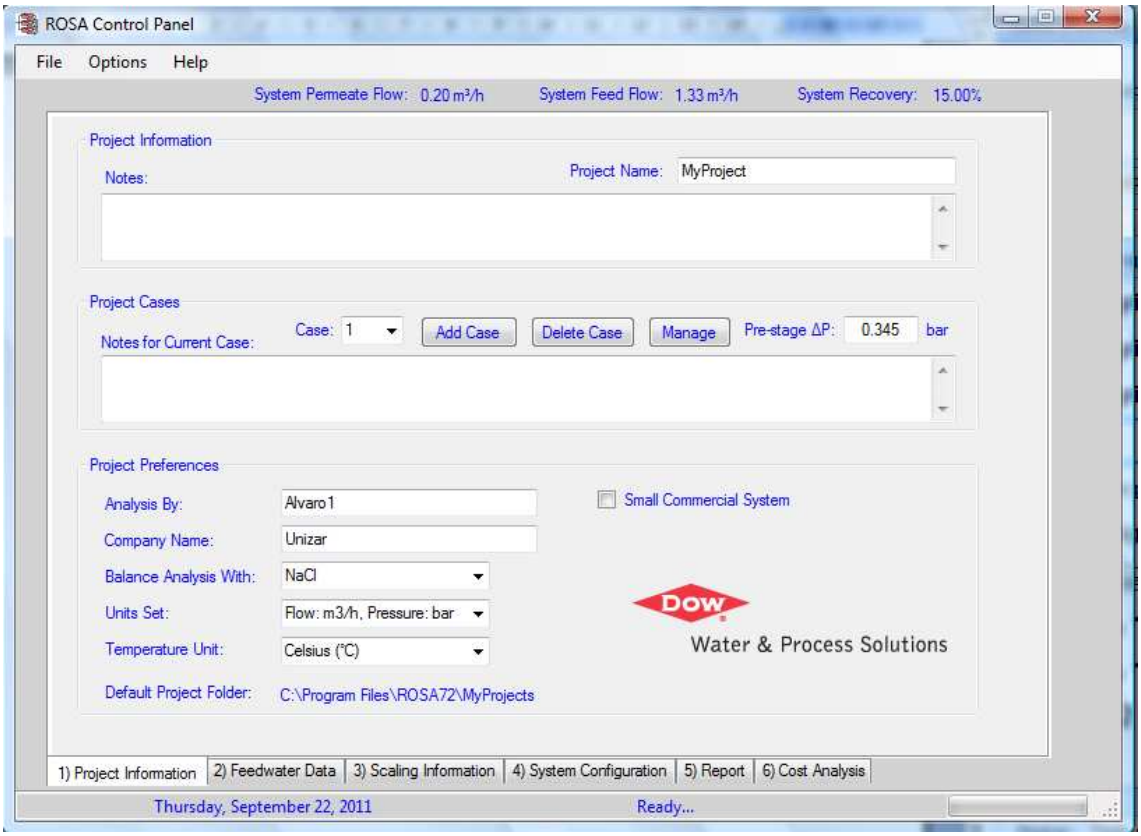


Figura 5.1: Ventana inicial de ROSA: Pestaña de "Proyect Information"

Al inspeccionar esta ventana inicial, el usuario se encontrará con que la interfaz del programa se divide principalmente en seis ventanas, a las cuales se accede mediante otras tantas pestañas situadas en su parte inferior. Esas seis ventanas se explicarán en el apartado 5.2: "Pestañas principales", y son las que siguen:

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

Además de las seis pestañas, el usuario puede acceder a más herramientas y opciones mediante los botones de cabecera. Estos botones se encuentran en la parte superior de la interfaz, y son botones desplegables, por lo que al clicar sobre ellos se desplegará un menú con múltiples opciones. En total ROSA presenta tres botones desplegables: “File”, “Options” y “Help”. El aspecto y la utilidad de cada uno de estos botones de cabecera se explicarán detalladamente en el apartado 5.1: “Botones de cabecera”.

Junto a las pestañas principales y a los botones de cabecera, la interfaz de ROSA posee un marco exterior, que siempre se mantiene fijo, independientemente de la pestaña principal en la que el usuario se encuentre.

En dicho marco exterior, el programa incluye varias utilidades, algunas interactivas y otras de solo lectura:

- En la parte superior del marco se indican las tres variables más importantes de la instalación: el flujo de permeado del sistema (“system permeate flow”), el flujo de alimentación del sistema (“system feed flow”) y el porcentaje del flujo de alimentación que permea (“system recovery”). Estas tres variables fueron explicadas en los apartados 4.2.1.5 y 4.2.3.4.

- En la parte inferior izquierda del marco se muestra la fecha.

- En la parte derecha del marco se encuentra el selector de casos. Esta herramienta permite saber en todo momento en qué caso del proyecto se encuentra el usuario, así como cambiar de caso rápidamente. Para más información consultar el apartado 5.2.1.2. En el supuesto de que el proyecto en ejecución sólo presente un caso, la herramienta de selector de casos desaparecerá.

Para una mejor identificación de cada una de estas partes, en la figura 5.2 se ha recuadrado en verde el marco exterior, en rojo las pestañas principales y en azul los botones de cabecera:

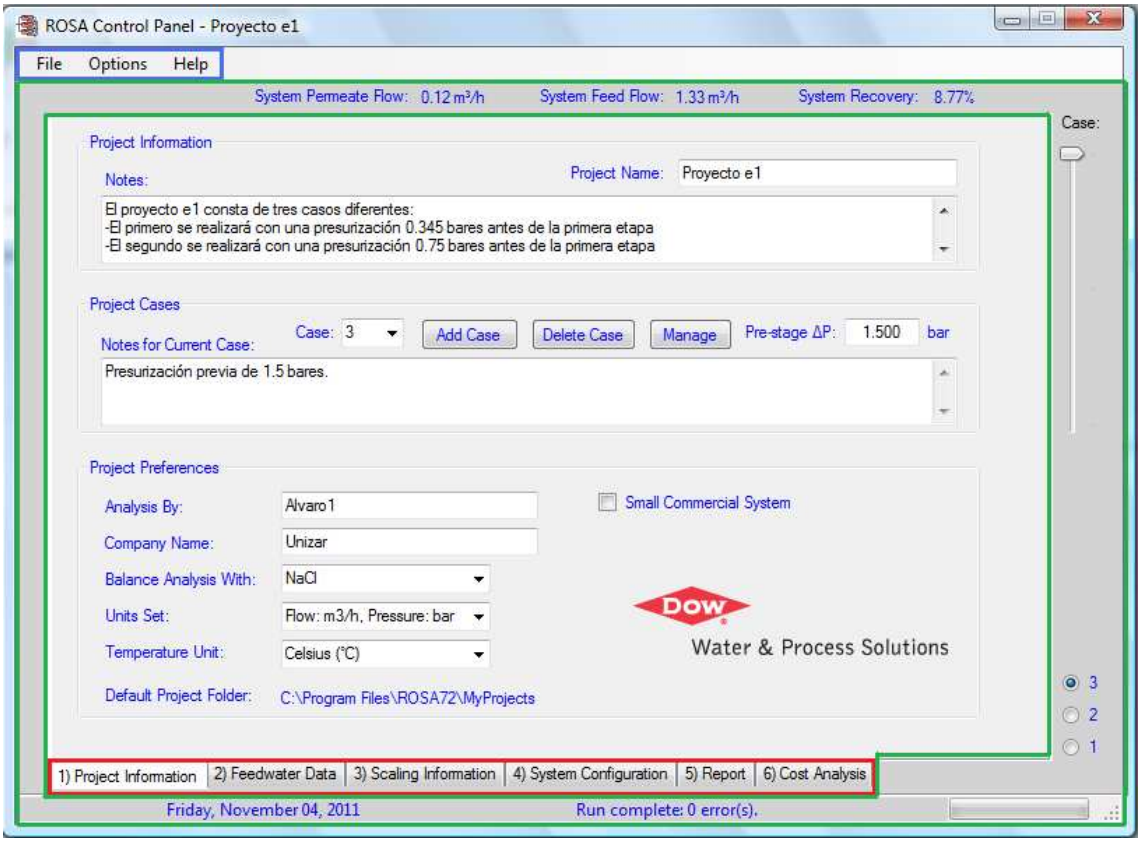


Figura 5.2: Situación de los botones de cabecera (azul), de las pestañas principales (rojo) y del marco exterior (verde).

En los siguientes apartados se describirán detalladamente cada una de estas partes.

5.1 Botones de cabecera

Antes de profundizar en las seis pestañas principales, se va a describir la utilidad y funcionamiento del cabecero del programa, formado por los botones:

- File (Archivo)
- Options (Opciones)
- Help (Ayuda)

5.1.1 File (Archivo)

El botón File se encuentra en la esquina superior izquierda de la interfaz. Es un botón desplegable, por lo que al clicar sobre él se desplegará un listado de opciones, tal y como se muestra en la figura 5.3:

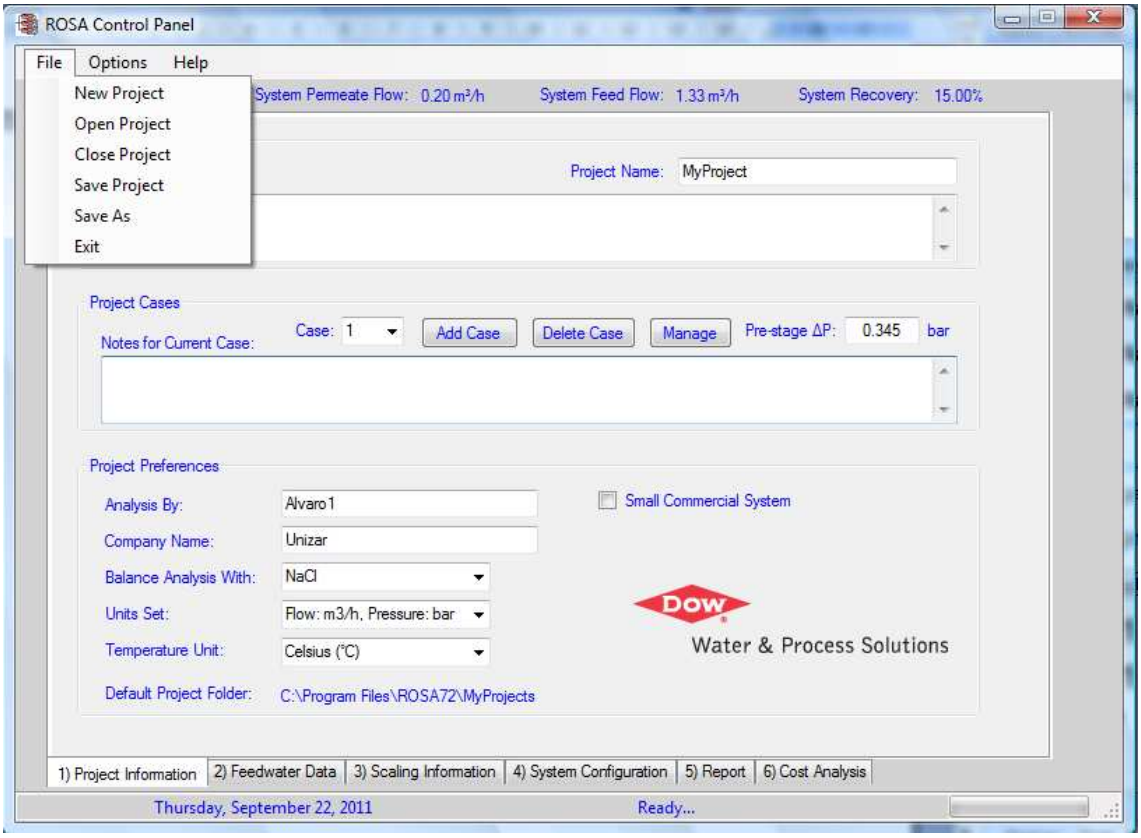


Figura 5.3: Menú desplegable de "File"

A continuación se detallará la utilidad de cada una de las opciones:

1) New Proyect (Nuevo Proyecto)

Al clicar sobre la primera opción del menú File, el programa automáticamente mostrará una ventana como la mostrada en la figura 5.4:

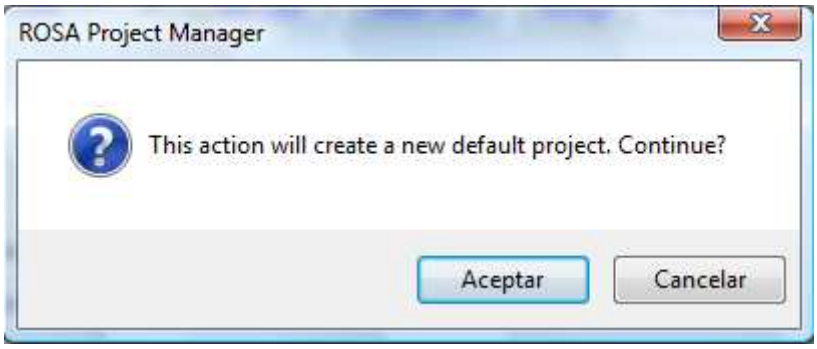


Figura 5.4: Ventana de verificación

Esta ventana pregunta si se quiere continuar creando un nuevo proyecto. En caso de tener ya un proyecto abierto sin guardar, lo mejor es clicar en “Cancelar”, guardarlo (tal como se indicará en los apartados 5.1.1.4 y 5.1.1.5) y después continuar con la creación de uno nuevo.

Una vez se clica en “Aceptar”, el programa automáticamente mostrará de nuevo la ventana de “1) Proyect Information” libre de datos y disponible para crear un nuevo proyecto desde cero.

2) Open Proyect (abrir proyecto)

Este botón permite abrir proyectos ya guardados anteriormente. Una vez se clica en él aparecerá la ventana mostrada en la figura 5.5:

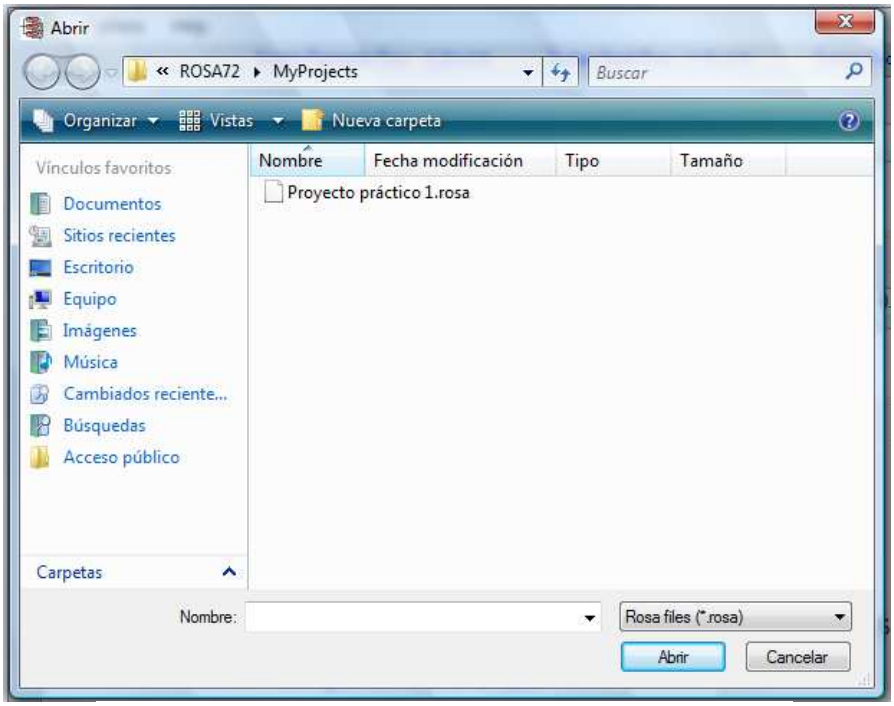


Figura 5.5: Ventana de "Abrir proyecto"

En esta ventana se muestran los proyectos guardados anteriormente. Hay que tener en cuenta que el programa establece una carpeta por defecto para guardar los proyectos. Esta carpeta se encuentra en Archivos de programa -> ROSA72 -> MyProyects. Así pues, el programa abrirá automáticamente dicha carpeta a la hora de intentar abrir un proyecto. En caso de haber guardado el archivo en otra dirección, será necesario buscarlo mediante la barra de direcciones de la parte superior.

Es posible cambiar la carpeta que el programa considera por defecto a la hora de abrir proyectos. Para más información consúltese el apartado 5.1.2.3 de este manual.

Los proyectos del programa ROSA se guardan con la extensión .rosa, lo que facilita su detección en caso de tener otro tipo de archivos guardados en la misma carpeta.

Una vez se encuentra el archivo que contiene el proyecto que se desea abrir, se selecciona y presiona el botón de "Abrir" para que el programa lo ejecute.

3) Close Proyect (cerrar proyecto)

Esa opción es simplemente para cerrar el proyecto en ejecución, y por tanto, es equivalente al aspa roja de la esquina superior derecha. Si se selecciona la opción “Close Proyect” aparecerá una ventana preguntando si se desea continuar. En caso de aceptar, el proyecto y el programa ROSE se cerrarán, mientras que si se cancela se volverá a la pestaña anterior.

4) Save Proyect (guardar proyecto)

Con este botón se puede sobreescribir un proyecto que ya esté guardado en una dirección concreta. En caso de que no sea así, el programa permitirá guardarlo como un proyecto nuevo, actuando como si se hubiera elegido la opción “Save As”.

5) Save As (guardar como…)

Esta opción sirve para guardar un proyecto en una ubicación determinada. La ubicación por defecto es, como ya se ha dicho anteriormente, la carpeta Archivos de programa -> ROSA72 -> MyProyects (a no ser que el usuario cambie la carpeta predefinida, tal y como se explica en el apartado 5.1.2.3).

A la hora de guardar el proyecto, el programa pedirá la introducción de un nombre para el archivo, que tendrá la extensión .rosa.

6) Exit (salir)

Esta última opción cierra directamente el programa ROSE.

5.1.2 Options (Opciones)

El botón Options es el intermedio de los tres que componen los botones de cabecera. Es un botón desplegable, por lo que al clicar sobre él se desplegará un listado tal y como se muestra en la figura 5.6:

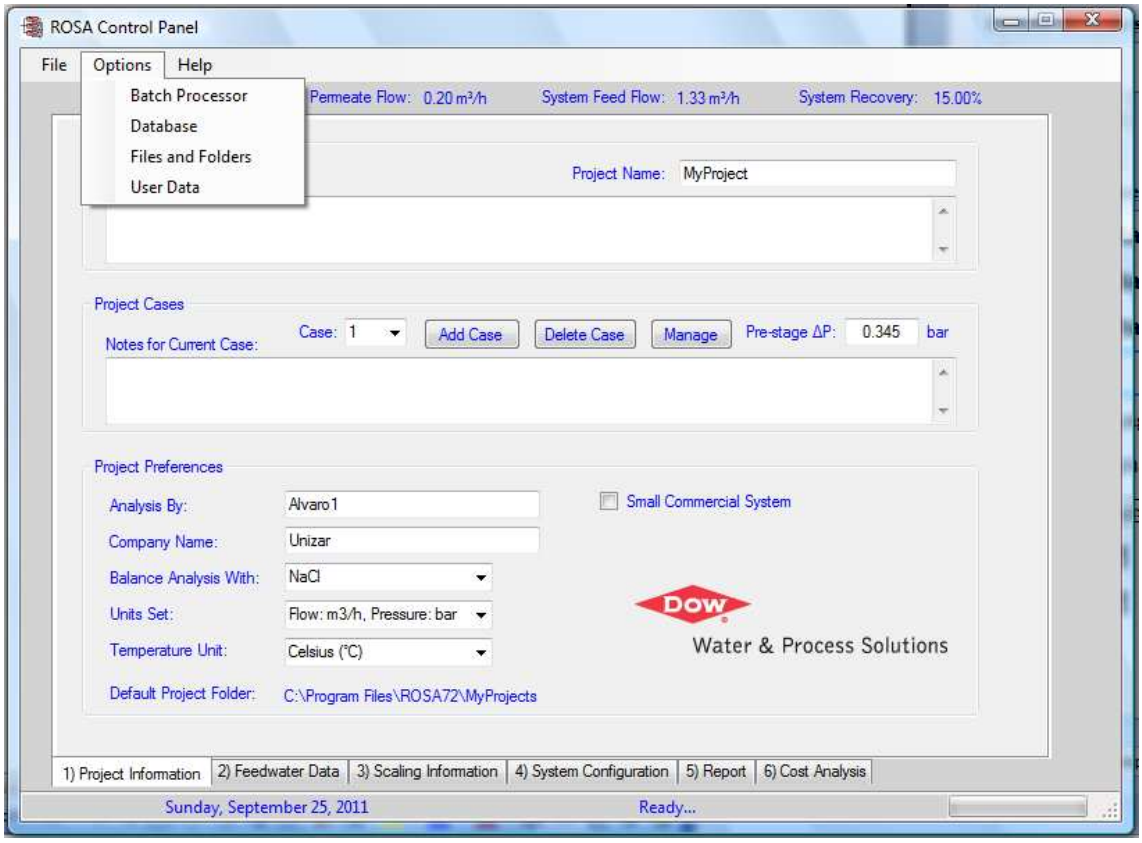


Figura 5.6: Menú desplegable de "Options"

Como se observa en la figura 5.6, el menú "Options" presenta cuatro botones. A continuación se detallará la utilidad de cada uno:

1) Batch Processor (Procesador por Lotes)

ROSA tiene un modo de trabajo "por lotes", que permite al usuario ejecutar simulaciones discontinuas. Estas simulaciones dan al usuario el valor de gran cantidad de parámetros de la instalación ("output parameters") en función de los valores fijados por el usuario en las temperaturas de trabajo y en los factores de flujo ("input parameters").

Al clicar sobre el primer botón, “Batch Processor”, se abrirá una ventana como la que se muestra en la figura 5.7:

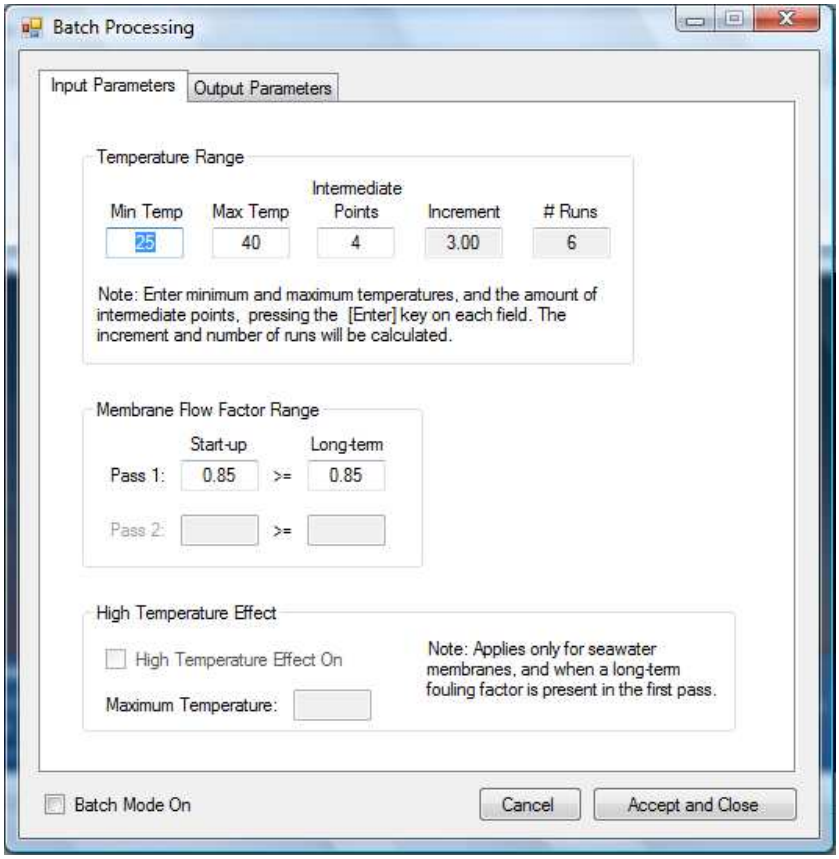


Figura 5.7: Ventana de “Batch Processing”. Pestaña de “Input Parameters”

Dicha ventana consta de dos pestañas: Input Parameters (Parámetros de Entrada), que es la que está marcada en la figura 5.7, y Output Parameters (Parámetros de Salida), que se muestra en la figura 5.8. En ambas pestañas está presente la casilla “Batch Mode On”, en la esquina inferior iquierda. Si se activa esta casilla, el programa funcionará en modo discontinuo (modo “batch”), en caso contrario, el programa seguirá funcionando en modo continuo.

Hay que tener en cuenta que, cuando el usuario ejecute el programa en modo discontinuo, la interfaz del programa no cambiará, ni tampoco lo harán las pestañas principales: el usuario deberá rellenar exactamente los datos de igual forma que en el modo continuo. Las diferencias entre los dos modos de trabajo no se distinguirán hasta la quinta pestaña principal: “5) Report”.

- **Input Parameters (Parámetros de Entrada)**

  Los “Input Parameters” son las variables independientes de las simulaciones discontinuas que se llevan a cabo en el modo “batch”. Estas variables independientes o de entrada son dos: la temperatura de trabajo del sistema y el valor del factor de flujo para cada paso.

  En la pestaña de parámetros de entrada, lo primero que se pide es el rango de temperatura en el que se desea trabajar. Para ello es necesario introducir las temperaturas mínima y máxima de trabajo y el número deseado de puntos intermedios (es decir, hay que rellenar los tres primeros cuadros de texto). ROSA calculará automáticamente los incrementos de temperatura necesarios y el número de “ejecuciones” (runs), que será necesario realizar cuando comience la simulación. Los efectos de la temperatura en los sistemas de ósmosis inversa se mostraron en el apartado 4.2.3.1.1 de este manual.

  A la hora de rellenar esos tres primeros cuadros de texto, hay que tener en cuenta que después de introducir los datos numéricos es necesario pulsar la tecla Enter para que se vayan guardando los campos.

  A continuación, se pide rellenar los campos que se encuentran debajo del título “Membrane Flow Factor Range” (Rango de Factores de Flujo en la Membrana). Para ello hay que introducir un factor de flujo para el arranque (Start-up), y otro para el largo plazo (Long.term). Este último factor de flujo debe ser igual o menor que el primero (en caso contrario el programa no lo aceptará). Para la elección de los factores de flujo se recomienda consultar el apartado 4.2.3.1.2 de este manual.

  Esta información acerca de los cambios esperados en los factores de flujo a lo largo del tiempo se ha de introducir para todos los pasos de la instalación. En la figura 5.7 se muestra el caso de una instalación con un solo paso, pero si hubiese dos pasos, la segunda fila se desbloquearía, y tendría que rellenarse de igual forma que la antes descrita.

En ROSA se denomina “paso” a toda agrupación de módulos (o etapas) que funcionen con la misma alimentación. El número de pasos de la instalación se seleccionarán en la cuarta pestaña principal: “System Configuration”, y no puede ser mayor de dos.

Por último, y sólo en el caso de que se utilicen membranas para agua marina y haya un elevado factor de ensuciamiento a largo plazo (el FF final sea muy bajo), será necesario activar la casilla “High Temperature Effect On”, e introducir el pico máximo de temperatura al que ha estado sometida o va a ser sometida la membrana, para así tener en cuenta la posible compactación (reversible o irreversible) de ésta. Al marcar esta casilla se activa la función de histéresis descrita en el apartado 4.2.3.1.1 de este manual.

Con esto, el usuario habrá rellenado los parámetros de entrada a través de los cuales el programa calculará el resto de variables dependientes. Hay que tener presente el número de ejecuciones que ROSA tendrá que realizar, ya que si se modifican a la vez la temperatura y el factor de flujo, ese número se duplicará (para cada valor de temperatura, ROSA calculará dos casos: uno con el FF de arranque y otro con el FF de largo plazo).

- **Output Parameters (Parámetros de Salida)**

  Una vez introducidas las variaciones que se simularán en los dos parámetros de entrada, el usuario deberá introducir los parámetros de salida. Para ello tiene que clicar sobre la pestaña "Output Parameters". Al hacerlo, aparecerá lo que se muestra en la figura 5.8:

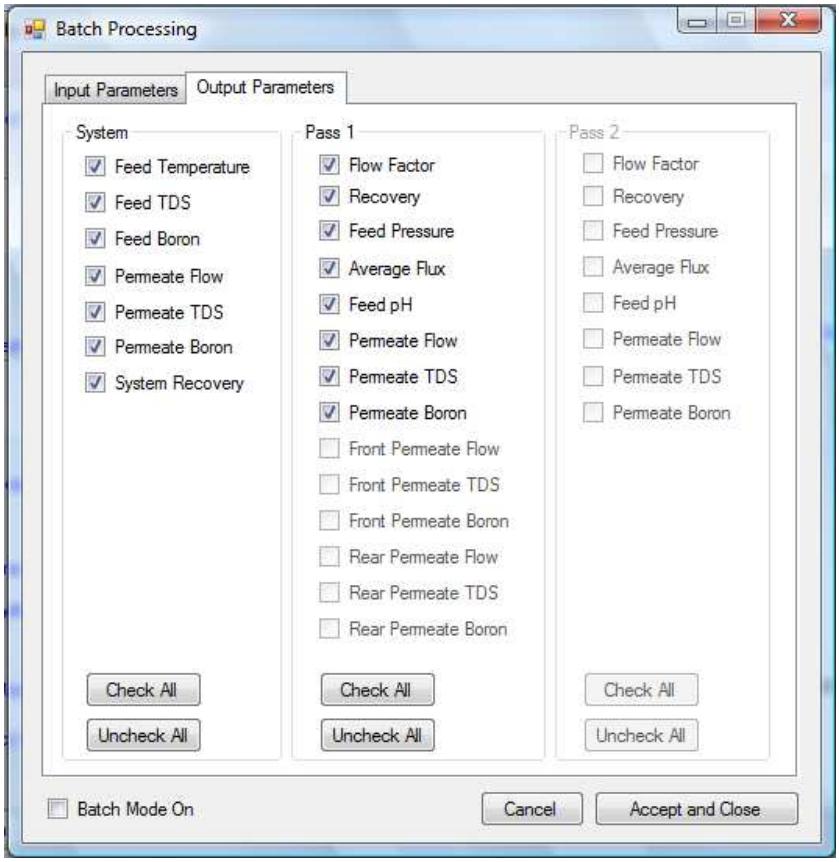


Figura 5.8: Ventana de "Batch Processing". Pestaña de "Output Parameters"

Esta pestaña tiene una estructura en forma de columnas: la primera columna se refiere al sistema completo, la segunda al primer paso, y la tercera al segundo paso. Todas las columnas tienen en su base dos opciones: "Check All" y "Uncheck All", que sirven respectivamente para marcar de una vez todas las casillas y para desactivarlas.

En las tablas 5.1 y 5.2 se indicará brevemente en qué consisten las casillas disponibles:

Tabla 5.1: Casillas de la columna "System".

System	
Feed Temperature	Temperatura de la alimentación (ºC)
Feed TDS	TDS en la alimentación (mg/l)
Feed Boron	Boro en la alimentación (mg/l)
Permeate Flow	Flujo de permeado (m^3/h)
Permeate TDS	TDS permeados (mg/l)
Permeate Boron	Boro permeado (mg/l)
System Recovery	% de flujo de la alimentación que permea

Tabla 5.2: Casillas de la columna "Pass 1".

Pass 1	
Flow Factor (FF)	Factor de Flujo
Recovery	% de flujo que permea en el paso 1
Feed Pressure	Presión de la alimentación (bar)
Average Flux	Flujo promedio ($l/m^2 \cdot h$ o lmh)
Feed pH	pH de la alimentación
Permeate Flow	Flujo permeado (m^3/h)
Permeate TDS	TDS permeados (mg/l)
Permeate Boron	Boro permeado (mg/l)
Front Permeate Flow	Flujo de permeado frontal (m^3/h)
Front Permeate TDS	TDS permeados frontalmente (mg/l)
Front Permeate Boron	Boro permeado frontal (mg/l)
Rear Permeate Flow	Flujo de permeado trasero (m^3/h)
Rear Permeate TDS	TDS permeados por la parte trasera (mg/l)
Rear Permeate Boron	Boro permeado por la parte trasera (mg/l)

Los parámetros TDS y pH se explican en el apartado 4.2.2, mientras que el FF (Factor de Flujo) se encuentra descrito en el apartado 4.2.3.1 de este manual. El Average Flux, o flujo promedio se describe en el apartado 4.2.1.5.

Al mantener una casilla marcada, se indica al programa que se desea que, una vez se ejecute la simulación en modo discontinuo (al acceder a la quinta pestaña principal: “Report”), dicho parámetro aparezca en la tabla como una variable de salida (variable dependiente). Se han incluido entre paréntesis las unidades en las que aparecerán estas variables en la tabla, siempre que se hayan seleccionado como unidades predefinidas m^3/h, bar y ºC.

La columna “Pass 2” no se explica ya que presenta las mismas casillas que la “Pass 1”, con la excepción de las últimas 6, que no aparecen. Esto es debido a que, como no es posible introducir más de dos pasos en la instalación, el segundo paso no podrá tener detrás a ningún otro, y las últimas 6 variables carecerían de sentido.

2) Database (Base de Datos)

Esta opción muestra la dirección en la que se encuentra el archivo donde se contiene la base de datos en la que están guardadas algunas de las características más importantes del programa, como el listado y propiedades de las membranas FilmTec. Los archivos de base de datos siempre presentan la terminación .rosadb.

Si se desea cambiar de base de datos, el programa cierra automáticamente el proyecto que estuviera en ejecución, por lo que es recomendable guardarlo previamente.

Una vez se clica el botón “Database” emergerá una ventana que preguntará si se desea continuar, avisando que en caso de cambiar de base de datos, el proyecto en ejecución cerrará. Una vez se clica en continuar, aparecerá una ventana como la que sigue en la figura 5.9:

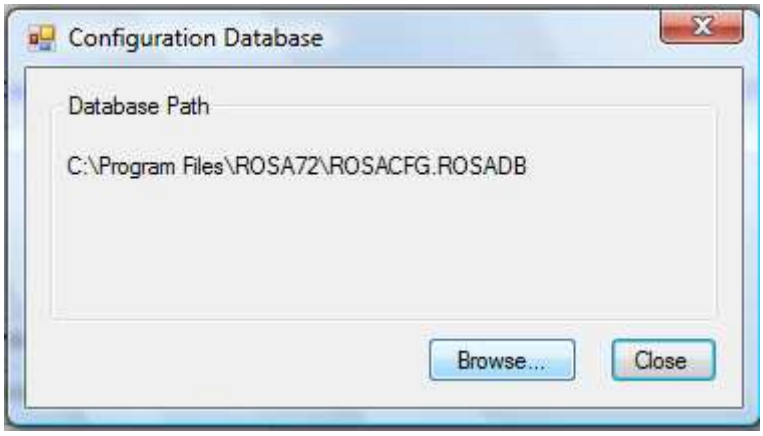


Figura 5.9: Ventana de "Configuration Database"

En ella se indica la ruta en la que se encuentra la base de datos que se está actualmente utilizando, en este caso, la base de datos contenida en el archivo ROSACFG.rosadb, guardado en la ruta C:\Archivos de Programa\ROSA72.

Al presionar sobre "Close", se volverá al proyecto en ejecución. Si se clica en "Browse" (Navegar), aparecerá una nueva ventana, que tendrá el aspecto de la captura de pantalla que sigue en la figura 5.10:

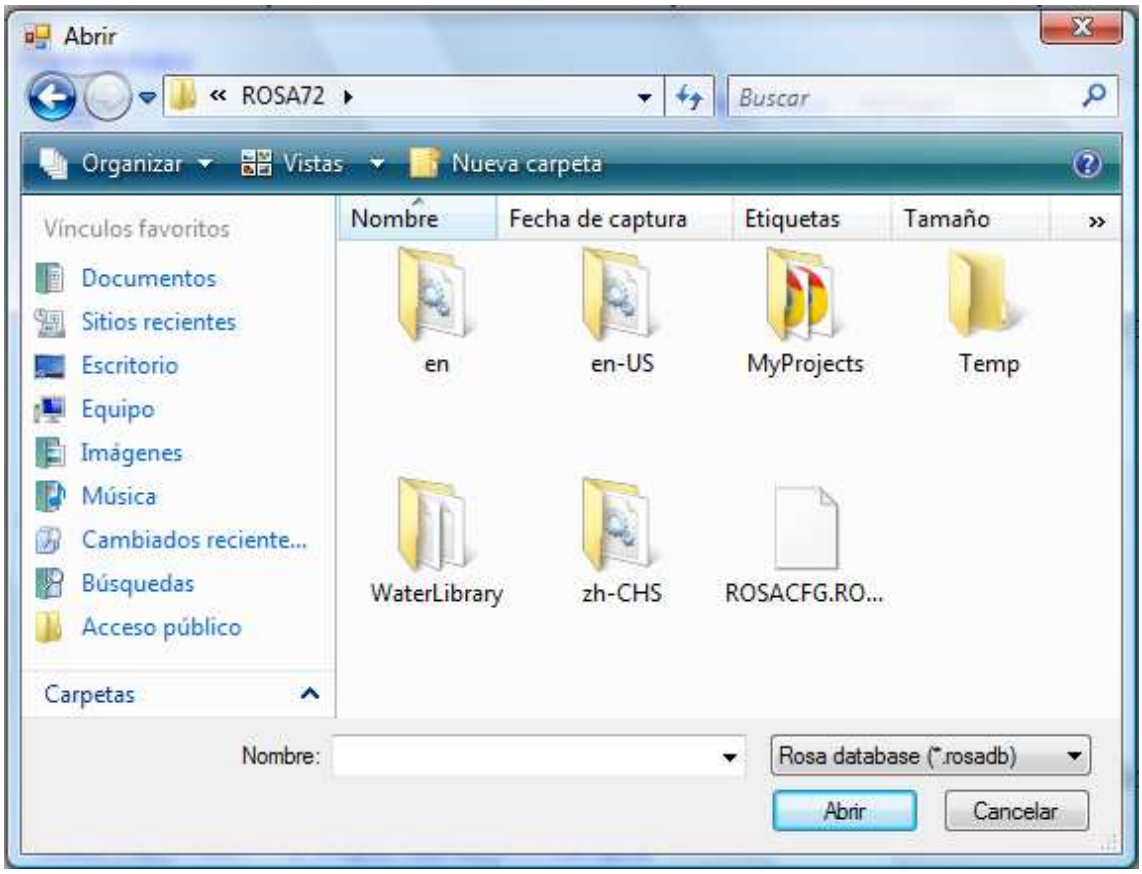


Figura 5.10: Ventana de exploración

En esta nueva ventana se puede navegar por los directorios para buscar los archivos de base de datos ROSA. Estos archivos, como ya se ha mencionado, poseen la extensión .rosadb. Una vez se encuentre el archivo que se quiere cargar, por ejemplo, ROSACFG.rosadb, se selecciona y se clica en abrir. Con esto se ha cambiado la base de datos que utiliza el programa para su funcionamiento.

3) Files and Folders (Archivos y Carpetas)

Al clicar sobre la opción "Files and Folders", se abre una ventana que permite manejar los parámetros predefinidos que afectan al manejo (abrir, guardar, seleccionar carpetas por defecto) de los archivos .rosa. La ventana en cuestión es la que puede verse en la figura 5.11, que muestra las casillas que se encuentran marcadas por defecto por el programa:

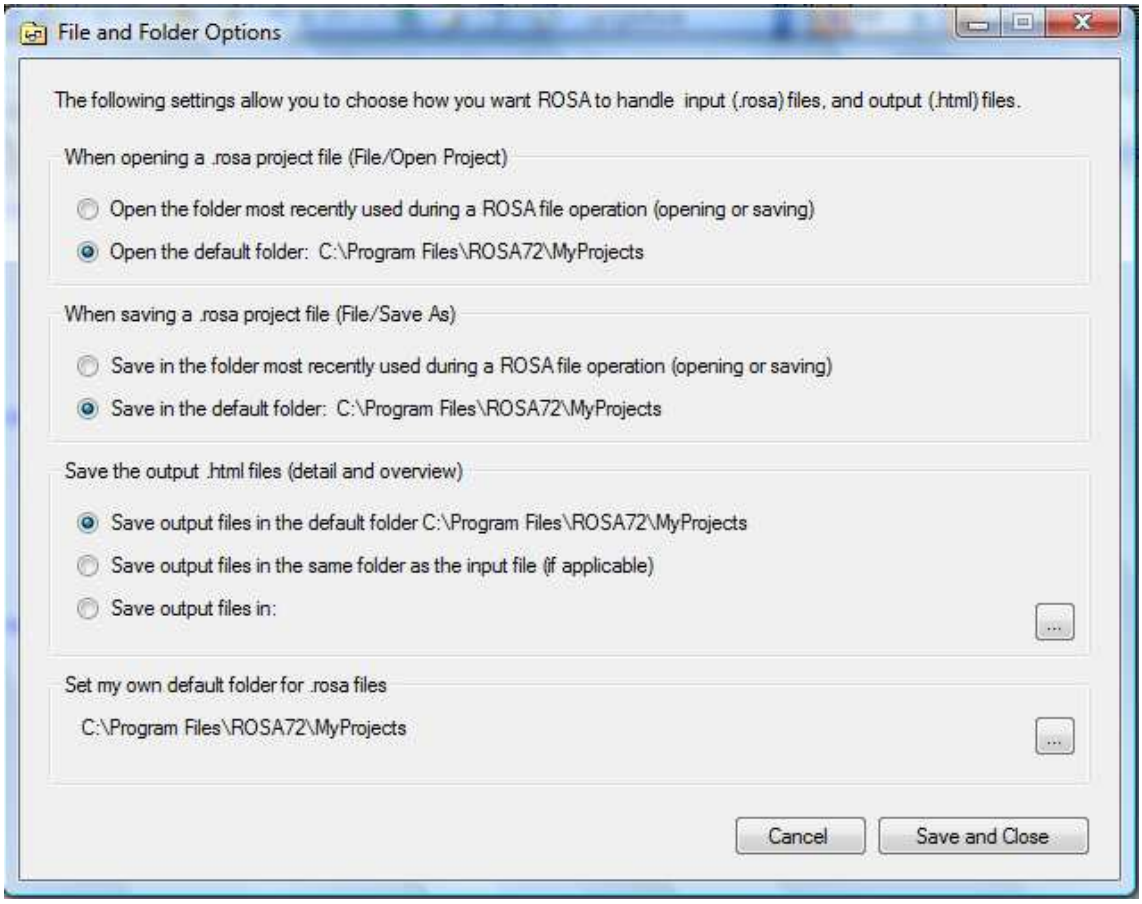


Figura 5.11: Ventana "File and Folder Options"

En dicha ventana se puede seleccionar la forma en que el programa maneja los archivos de entrada (input files, con formato .rosa) y de salida (output files, con formato .html). A continuación se describirán las 4 opciones que se pueden modificar:

1) La primera opción da a elegir qué carpeta se prefiere que aparezca a la hora de abrir un proyecto (mediante la acción File -> Open Proyect, explicada en el apartado del botón de cabecera “File”).

La primera casilla hace que esa carpeta sea siempre la última en la cual se ha llevado a cabo una acción con un fichero de tipo ROSA, es decir, hace que aparezca la carpeta donde se ha guardado o abierto un fichero ROSA por última vez.

La segunda casilla hace que siempre se abra la carpeta por defecto, en este caso: C:\Archivos de Programa\ROSA72\MyProyects. En la cuarta opción se verá cómo cambiar la carpeta por defecto.

2) La segunda opción es análoga a la primera, pero esta vez afecta a la carpeta donde se quiere que se guarden los ficheros ROSA (mediante la acción File -> Save As, también explicada anteriormente).
La primera casilla hace que esa carpeta sea siempre la última en la cual se ha llevado a cabo una acción con un fichero de tipo ROSA.
La segunda casilla, por el contrario, hace que todos los proyectos se guarden siempre en la carpeta por defecto, en este caso, la llamada “MyProyects”, con ruta: C:\Archivos de Programa\ROSA72\MyProyects.

3) La tercera opción se diferencia de las dos primeras en que en este caso, afecta a la forma en que se tratan los archivos de salida (output files), que tienen formato .html. Estos archivos de salida serán los informes generados en la quinta pestaña principal (“Report”, véase apartado 5.2.5).

Los “output files” se guardan automáticamente cada vez que se genera un informe nuevo, por lo que será importante decidir la ubicación en la que se van a situar.

La primera casilla hace que se guarden en la carpeta por defecto “MyProyects”, con la ruta especificada anteriormente.
La segunda casilla permite guardar el archivo de salida (.html) en la misma carpeta que el archivo de entrada (.rosa), siempre y cuando eso sea posible.
La tercera opción da al usuario la posibilidad de elegir la carpeta que desee para guardar los archivos de salida. Para ello hay que seleccionarla y presionar la casilla con puntos suspensivos que tiene a la derecha, tras lo cual saldrá una ventana de exploración para que el usuario elija la carpeta que desee.

4) Esta cuarta y última opción permite elegir la carpeta predefinida para los archivos .rosa. Por defecto está marcada la carpeta C:\Archivos de Programa\ROSA72\MyProyects. Si se desea cambiar esta carpeta predefinida, es necesario presionar el botón con puntos suspensivos de la derecha, tras lo cual saldrá una ventana de exploración para que el usuario elija la carpeta que desee. Una vez se haya cambiado la carpeta predefinida, en el resto de opciones de “File and Folder Options” aparecerá como carpeta por defecto aquella que el usuario haya elegido, en lugar de la carpeta “MyProyects” como se había descrito anteriormente.

Tras realizar los cambios oportunos, es necesario clicar en la opción “Save and Close” de la esquina inferior derecha. Si se clica en “Cancel”, la ventana de “File and Folder Options” se cerrará sin que se guarden los cambios realizados anteriormente.

4) User Data (Datos de usuario)

Como se puede observar en la figura 5.6, “User data” es la cuarta y última opción del botón de cabecera desplegable “Options”, y sirve para cambiar los datos personales del usuario del programa, seleccionar algunos aspectos básicos de su funcionamiento (unidades de temperatura, caudal, presión) o cambiar el idioma de la interfaz.

Al clicar sobre “User Data” aparecerá la ventana que se muestra en la figura 5.12:

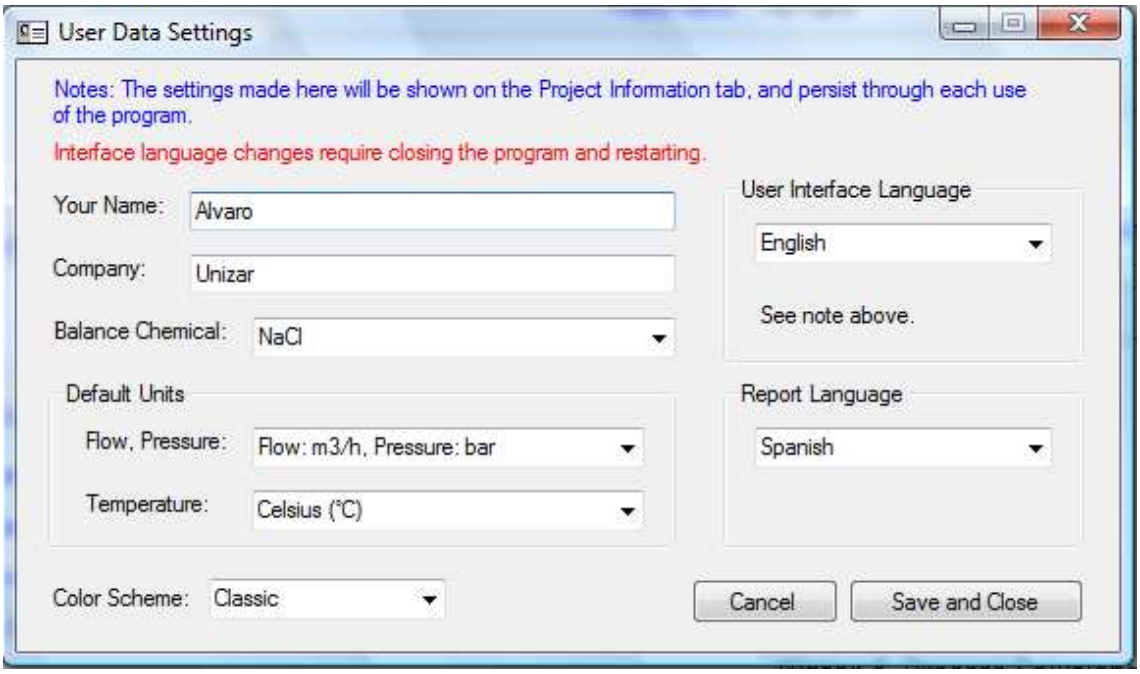


Figura 5.12: Ventana “User Data Settings”

En el encabezado de la ventana, se avisa que los ajustes realizados en en “User Data Settings” aparecerán en la información del proyecto, y persistirán en cada uso del programa, hasta que se vuelvan a modificar. También recuerda que los cambios en el lenguaje de la interfaz requerirán cerrar el programa y reinicializar.

A continuación se presenta la misma ventana numerada para facilitar su explicación parte por parte. Dicha ventana puede verse en la figura 5.13:

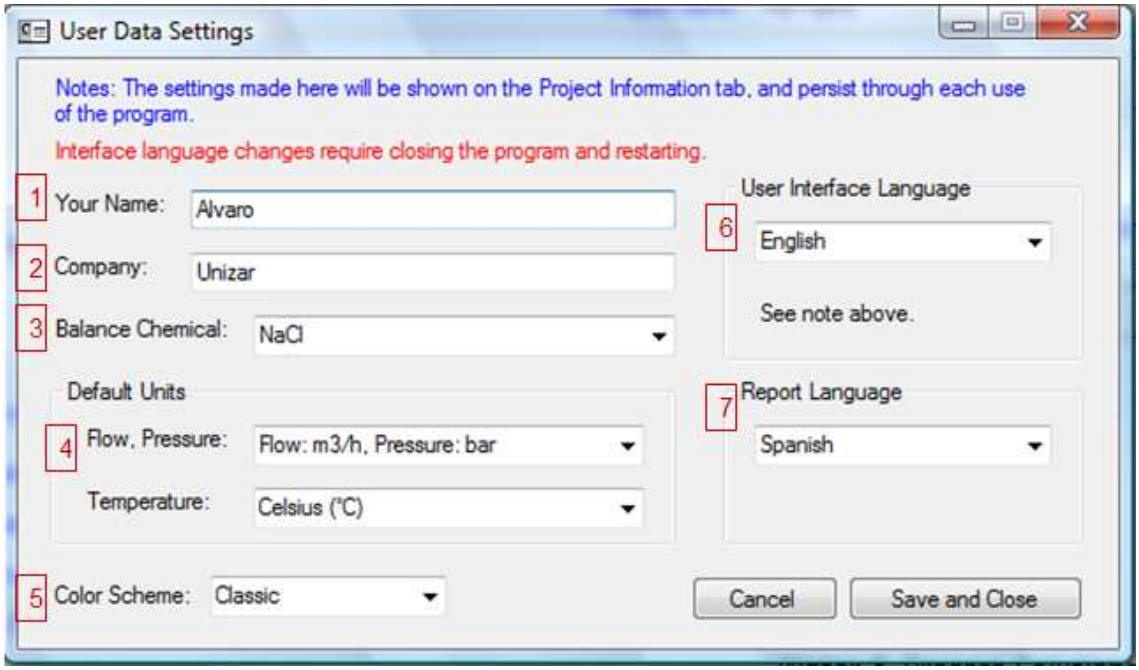


Figura 5.13: Ventana numerada de "User Data Settings"

En el cuadro de texto 1, es necesario introducir el nombre del usuario del programa, mientras que el cuadro 2 se debe rellenar con el nombre de la compañía, empresa u organización. Estos dos nombres aparecerán en todos los proyectos realizados.

El punto 3, "Balance Chemical", consta de una ventana desplegable. Al presionar sobre la flecha de la derecha del cuadro, aparecen las siguientes opciones:

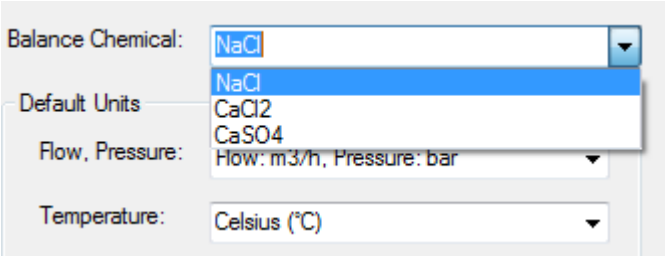


Figura 5.14: Ventana desplegable de "Balance Chemical"

Al seleccionar un compuesto, el usuario estará indicando al programa que, en caso de que el agua de alimentación no se encuentre correctamente ajustada en términos de balance de cargas, ROSA la ajuste mediante los cationes y aniones de los que esté compuesta la sal seleccionada. Por ejemplo, si a la

hora de ejecutar los cálculos de la instalación la corriente de entrada presenta una mayor carga de cationes que de aniones, y el usuario seleccionó en "Balance Chemical" el compuesto NaCl, ROSA ajustará dicha corriente mediante la adición de Cl^- hasta que su balance de cargas se equilibre.

La adición automática de cationes o aniones para ajustar el balance de cargas no se produce hasta que el usuario llegue a la quinta pestaña principal, "Report", tal y como se explica en el apartado 5.2.5.2.2.C de este manual.

En el punto 4 se pide que se seleccionen las unidades por defecto para las tres principales variables que se manejan en el programa: presión, caudal y temperatura. Al presionar sobre la flecha de la derecha del cuadro "Flow, Pressure", aparecen las siguientes combinaciones de unidades:

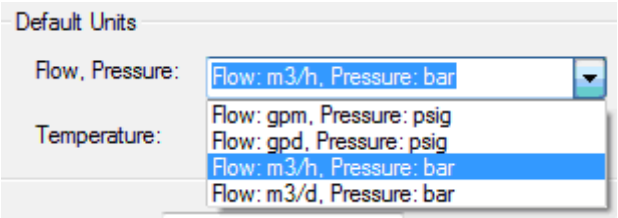


Figura 5.15: Ventana desplegable de unidades de caudal y presión

Como se ve en la figura 5.15, se puede elegir entre psig (libra por pulgada cuadrada) y bar para presión (que siempre será manométrica), y gpm (galones por minuto), gps (galones por segundo), m^3/h y m^3/día para caudal.

Al presionar la flecha del desplegable "Temperature", aparecerá la siguiente ventana:

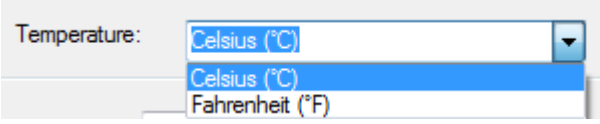


Figura 5.16: Ventana desplegable de unidades de temperatura

Como se observa en la figura 5.16, las dos unidades disponibles para temperaturas son los grados Celsius (ºC) y los grados Fahrenheit (ºF).

El punto 5 (“Color Scheme”) da a elegir entre los dos tipos de interfaz de los que dispone el programa: la clásica, que es la que se muestra en este manual, y la interfaz “Black”, con fondo negro.

El punto 6 da a elegir el idioma de la interfaz del programa. ROSA 7.2 está disponible en dos idiomas: inglés y chino. Para cambiar el idioma de la interfaz es necesario reinicializar el programa.

Al presionar el punto 7, se abre un desplegable en el que se puede elegir el idioma en el que aparecerá la llamada “Información del Proyecto” (“Report”, pestaña principal número 5). Hay disponibles tres idiomas: inglés, chino y español. Al cambiar el idioma de información del proyecto no será necesario reinicializar el programa.

En la ventana de “User Data Settings”, al igual que en el resto de ventanas del programa, si se quiere guardar los datos es necesario pulsar a “Save and Close”, mientras que si se presiona en “Cancel”, la ventana se cerrará sin efectuar los cambios.

5.1.3 Help (Ayuda)

El botón “Help” es el tercer y último botón de cabecera. Se encuentra en la esquina superior derecha de la interfaz, y es un botón desplegable, por lo que al clicar sobre él se desplegará un listado de opciones, tal y como se muestra en la figura 5.17:

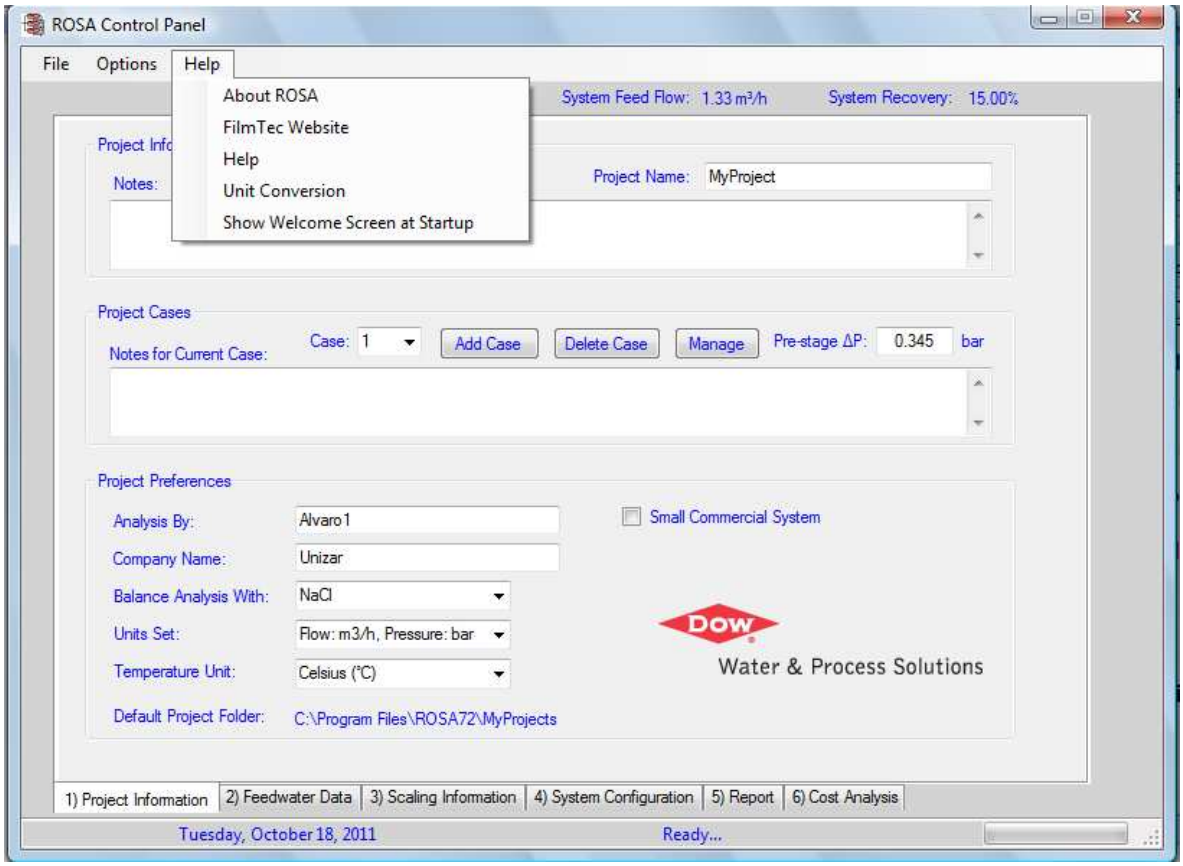


Figura 5.17: Menú desplegable de “Help”

Como se observa en la figura 5.17, al desplegarse, el menú “Help” presenta cinco botones. A continuación se detallará la utilidad de cada uno:

1) About ROSA (Acerca de ROSA)

Al clicar sobre la primera opción del menú desplegable, aparecerá una ventana informativa como la que se muestra en la figura 5.18:

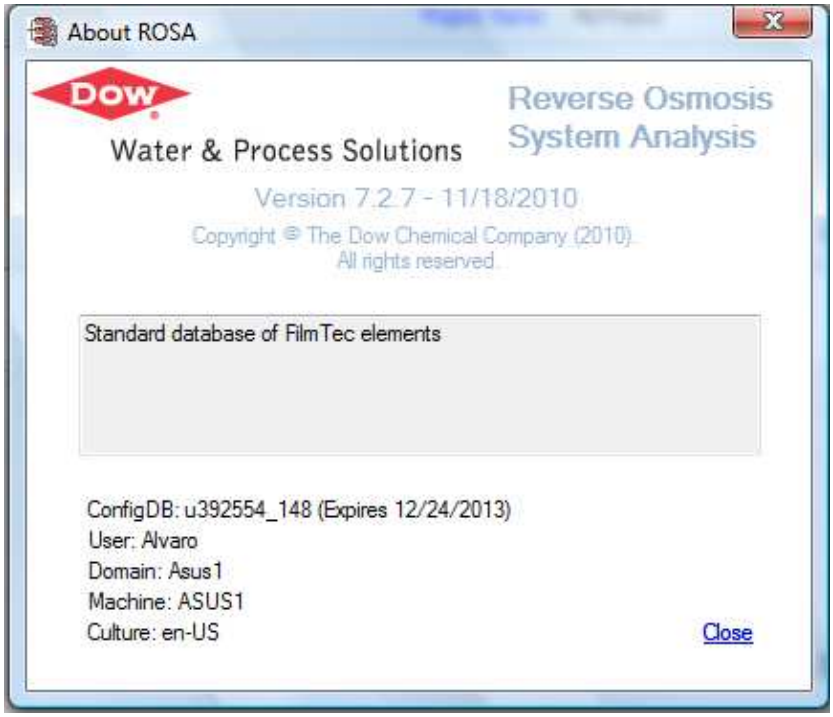


Figura 5.18: Ventana de "About ROSA"

En dicha ventana se muestra la información básica del programa. Las dos características que pueden resultar de más utilidad son:

-La versión que está instalada (en este caso la versión 7.2.7).

-La base de datos que se está utilizando (en este caso la "Standard database of FilmTec elements", es decir, la base de datos estándar de elementos de FilmTec). Esta base de datos puede cambiarse mediante la acción Options ->Database, tal y como se mostró en el apartado 5.1.2).

Esta ventana es puramente informativa, puesto que no se puede realizar ninguna acción sobre ella a excepción de cerrarla.

2) FilmTec Website (Página Web de FilmTec)

Al clicar sobre la segunda opción del menú desplegable "Help", el programa lleva al usuario a la página web FilmTec, la empresa filial de Dow responsable de su programa de "Water & Process Solutions", es decir, de su programa de purificación de aguas. Esta página web aparece dentro de la interfaz del programa ROSA, tal y como se muestra en la figura 5.19.

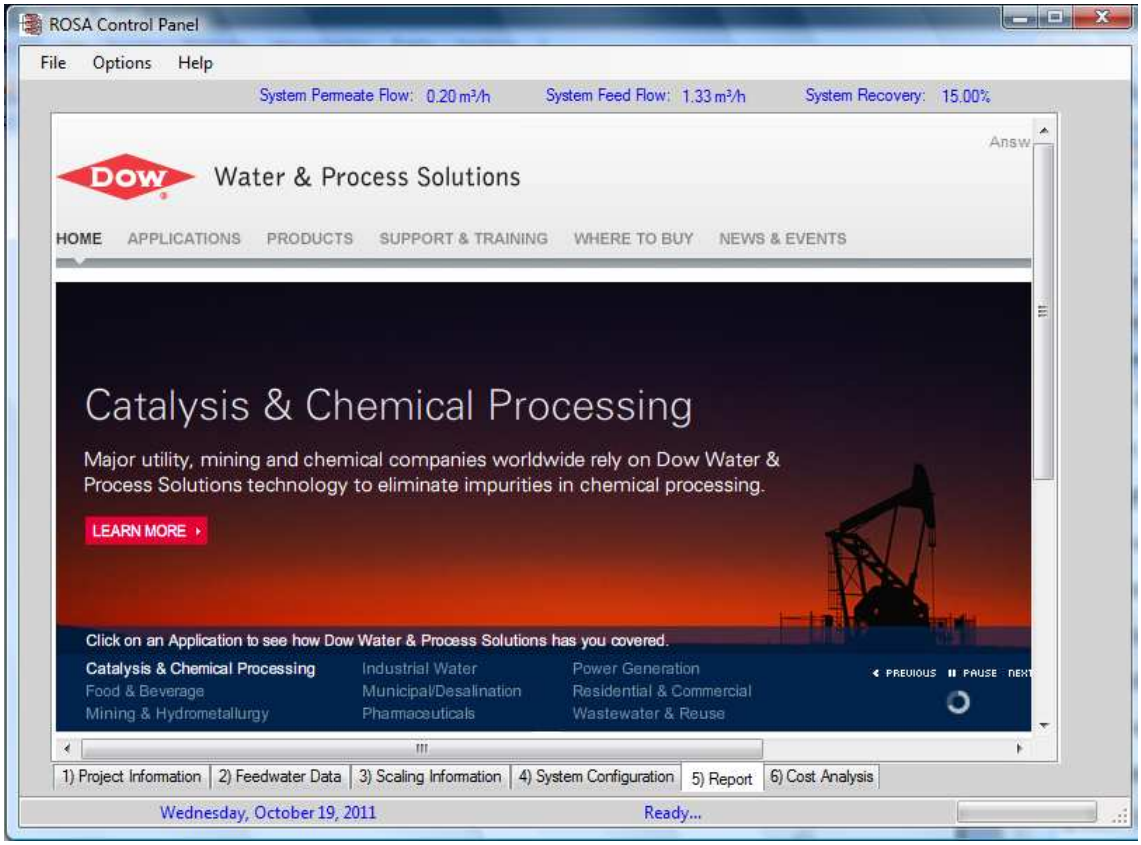


Figura 5.19: Página web de FilmTec

Una vez dentro de la página web, es posible navegar por ella con normalidad. Una aplicación interesante de esta página es el menú “Products”, donde pueden verse los productos para ósmosis inversa, nanofiltración, resinas de intercambio ionico y demás tecnologías que utiliza FilmTec para la purificación de aguas. Siguiendo la ruta Products -> Reverse Osmosis & Nanofiltration, se llega al catálogo de membranas de ósmosis inversa y nanofiltración de FilmTec. Cada modelo de membrana viene con una breve explicación y con sus características más importantes (superficie activa nominal, caudal de permeado…), lo cual será de gran utilidad dentro del programa ROSA a la hora de seleccionar un tipo de membrana para la instalación.

En los anexos se explica más detalladamente la selección de elementos dentro de la página web de FilmTec (Anexo II), así como la nomenclatura utilizada para nombrarlos de acuerdo a sus características (Anexo I).

3) Help (Ayuda)

La tercera opción del menú desplegable “Help”, llamado de la misma forma, abre para el usuario una ventana de ayuda, tal y como se muestra en la figura 5.20:

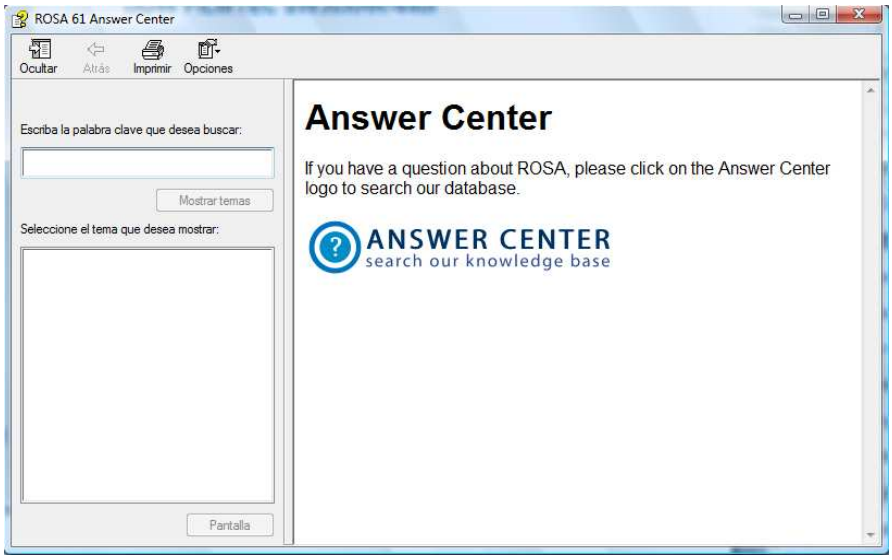


Figura 5.20: Ventana de ayuda de ROSA

Esta ventana muestra un enlace al centro de respuestas de Dow. Para acceder a dicho centro de respuestas es necesario clicar sobre el logo azul de “Answer Center”. Una vez se ha pulsado el logo, el programa llevará al usuario a una página como la que se muestra en la figura 5.21:

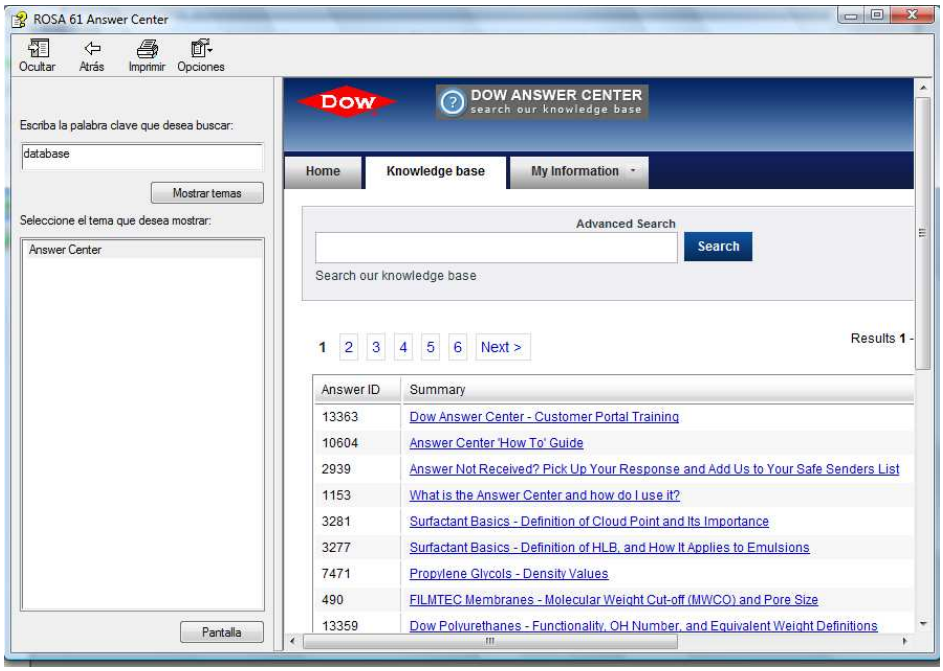


Figura 5.21: Centro de respuestas de Dow

En dicho centro de respuestas se encuentran archivadas miles de respuestas a preguntas comunes acerca de toda la actividad de Dow Chemical, por lo que sólo una pequeña fracción de ellas podrán resolver alguna cuestión al usuario de ROSE. Por ello es recomendable utilizar la búsqueda avanzada ("Advanced Search") que se encuentra en la parte superior derecha de la barra de búsqueda. Al clicar en "Advanced Search", el programa llevará al usuario a una página como la que muestra la figura 5.22:

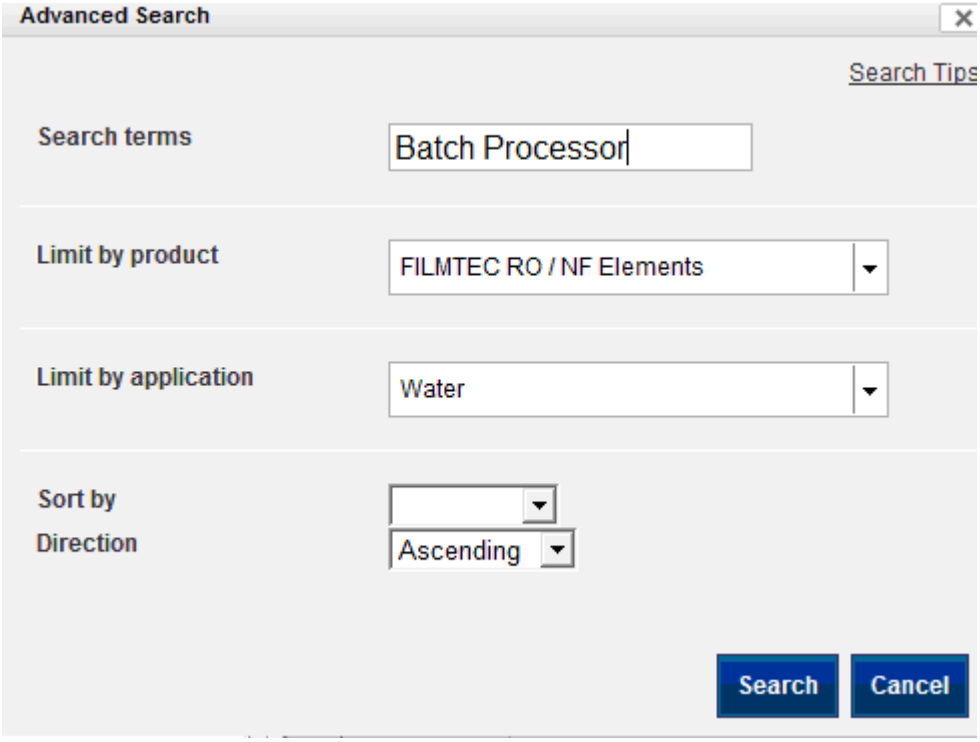


Figura 5.22: Búsqueda Avanzada del Centro de Respuestas

En dicha figura se muestra un ejemplo de cómo realizar una búsqueda sobre la herramienta "Batch Processor" del programa ROSA. En el primer cuadro de texto se introducen los términos de búsqueda (en este caso, "Batch Processor").

A continuación, en el apartado "Limit by product" es necesario introducir el tipo de producto de Dow Chemical en el que se pretende realizar la búsqueda. En la figura 5.23 se muestra la ventana desplegable abierta, en la que de entre

todas los productos o áreas disponibles, el usuario deberá buscar y seleccionar “FILMTEC RO / NF Elements”.

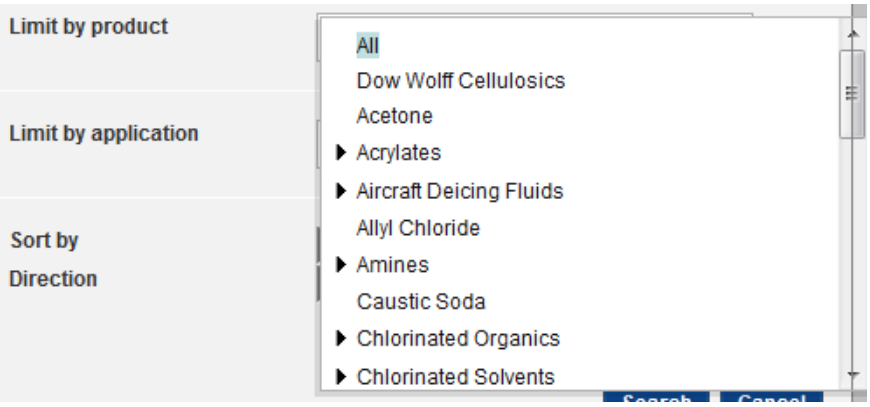


Figura 5.23: Ventana desplegable de productos disponibles

Una vez se ha reducido la búsqueda a “Elementos de Ósmosis Inversa y NanoFiltración de FilmTec”, el usuario deberá pasar a la siguiente ventana desplegable: “Limit by application”, que tiene el aspecto que se muestra en la figura 5.24:

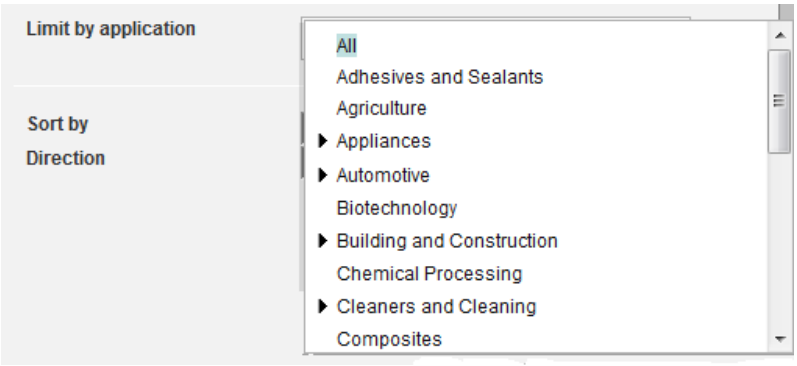


Figura 5.24: Ventana desplegable de aplicaciones disponibles

En esta ventana se limita la aplicación a la de purificación de aguas (seleccionar “Water”).

Los últimos dos cuadros de texto (titulados “Sort by” y “Direction”) no es necesario rellenarlos, ya que se refieren a preferencias a la hora de mostrar los resultados. Una vez se tiene la ventana rellenada como en la figura, se clica en “Search” para buscar los resultados. Tras esto, aparecerá una ventana de resultados como la que se muestra en la figura 5.25:

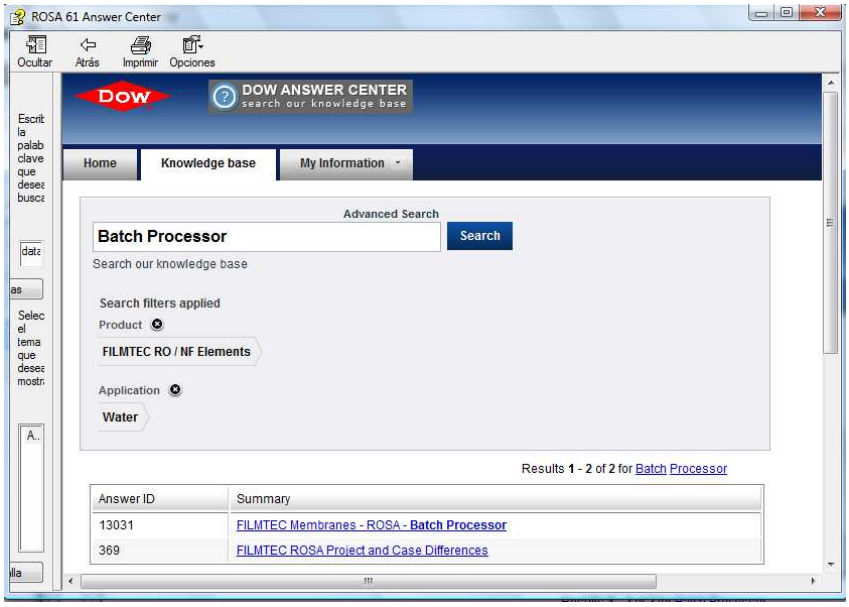


Figura 5.25: Ventana de resultados de búsqueda

Como se puede observar en la figura 5.25, el buscador encontró dos resultados, de los cuales solamente el primero coincide con lo que realmente se estaba buscando. Así pues, se clica sobre el primer resultado y el usuario será conducido a una breve explicación acerca de la herramienta de ROSA "Batch Processor", como se muestra en la figura 5.26:

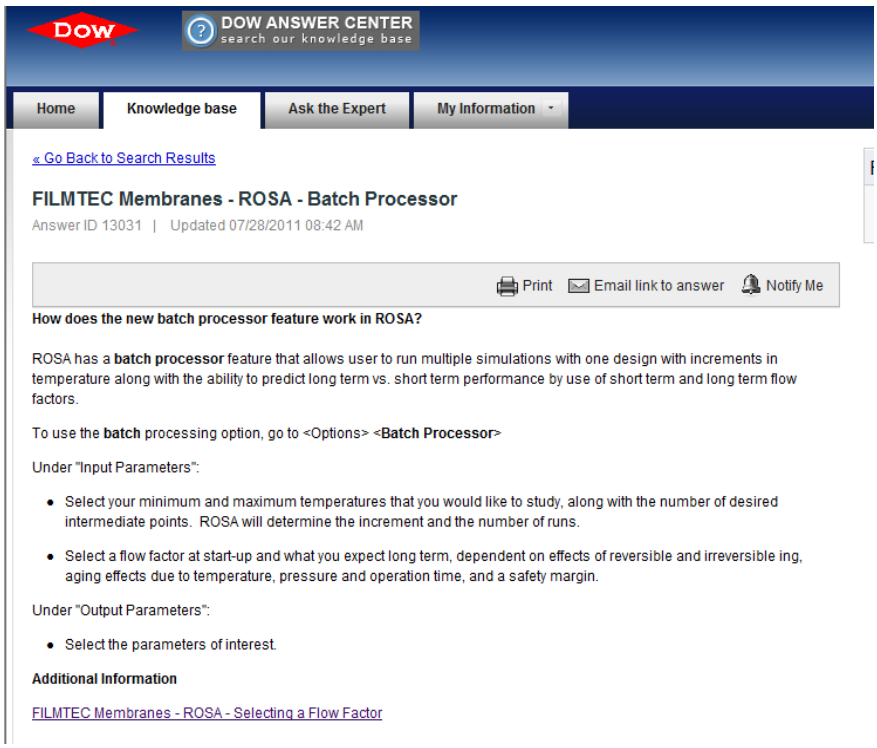


Figura 5.26: Explicación de "Batch Processor"

4) Unit Conversion (Conversor de Unidades)

La cuarta opción del menú deplegable “Help” es un sencillo conversor de unidades. Al clicar sobre él aparecerá una ventana tal y como se muestra en la figura 5.27:

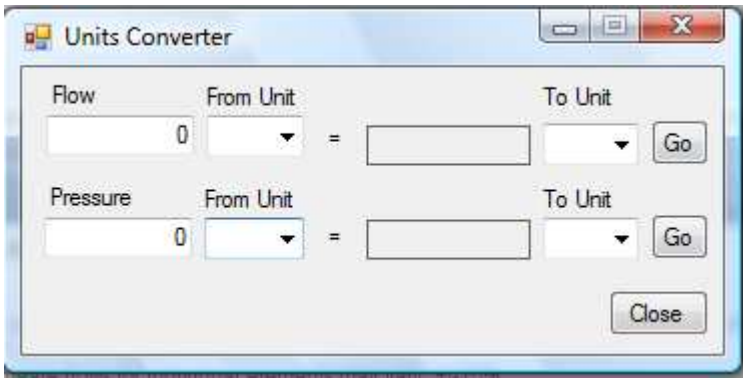


Figura 5.27: Conversor de Unidades de ROSE

Como se puede observar, el conversor sirve únicamente para cambiar de unidades de:

-Caudal: gpm a m^3/h (y viceversa).

-Presión: Psig a bar (y viceversa).

De todos modos, si se utiliza la herramienta Options -> User Data para establecer las unidades por defecto para cada variable (tal y como se explicó anteriormente), será menos necesaria la utilización del conversor de unidades.

5) Show Welcome Screen at Startup (mostrar pantalla de bienvenida al inicio)

Esta quinta y última opción del menú desplegable “Help” sirve para que el usuario decida si prefiere o no mostrar una pantalla de bienvenida al inicio del programa. Por defecto esta opción se encuentra desactivada.

5.2 Pestañas principales

Una vez descritos los tres botones de cabecera (File, Options, Help), quedan por describir las seis ventanas principales del programa, a las que se accede mediante las seis pestañas antes comentadas. En la figura 5.28 se puede recordar la situación de dichas pestañas:

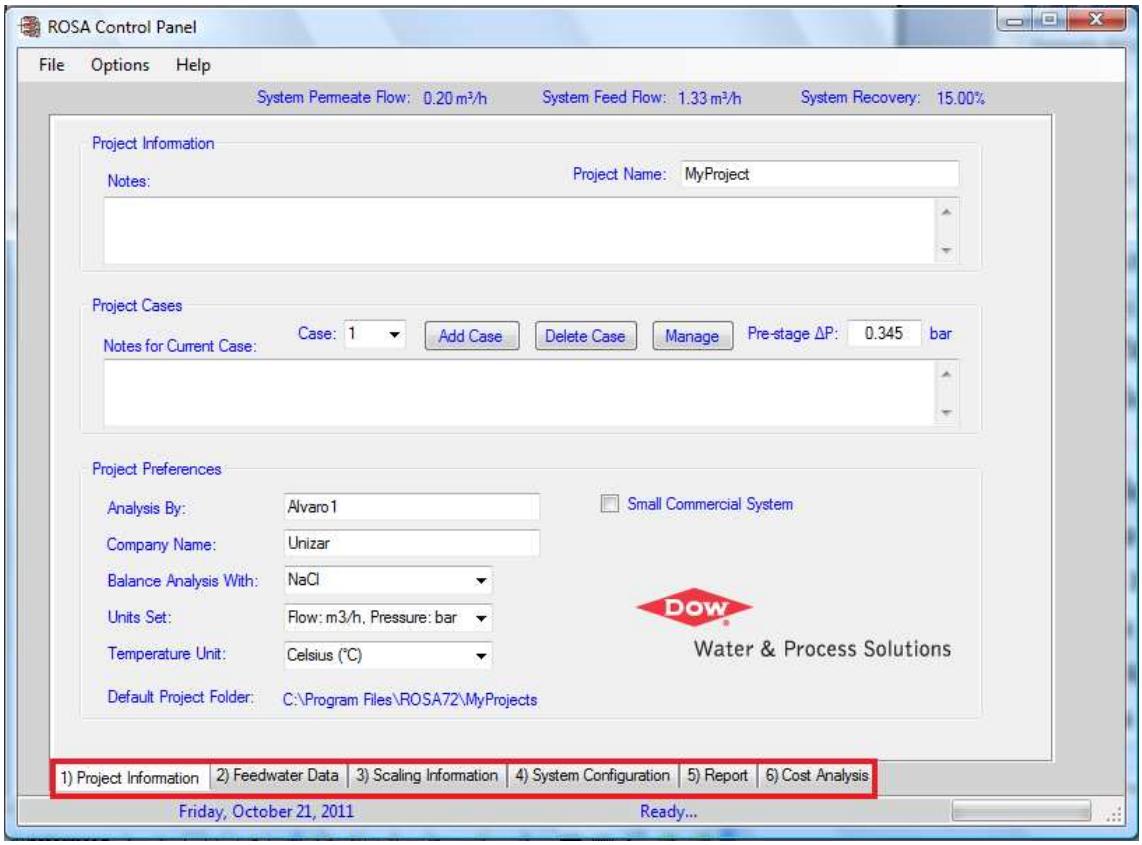


Figura 5.28: Situación de las seis pestañas principales

Nada más abrir el programa (tanto si se trata de un proyecto nuevo como si es un proyecto antiguo), ROSA sitúa al usuario en la ventana correspondiente a tener activada la pestaña “1) Proyect Information”, que es la que se observa en la figura 5.28. El usuario deberá rellenar todos los datos de dicha ventana antes de pasar a la pestaña “2) Feedwater Data”, y así sucesivamente hasta llegar a la sexta pestaña, momento en el cual se completará el proyecto. Junto a las ventanas principales, el usuario también podrá utilizar en cualquier punto del programa las herramientas contenidas en los botones de cabecera, explicados en el apartado 5.1.

5.2.1 Proyect Information (Información del Proyecto)

En esta ventana el usuario debe rellenar los datos y preferencias básicos del proyecto que desee realizar: nombre del proyecto, anotaciones, número de casos, escala de la instalación, etc…

Para facilitar la explicación de todas sus partes, se presenta la figura 5.29:

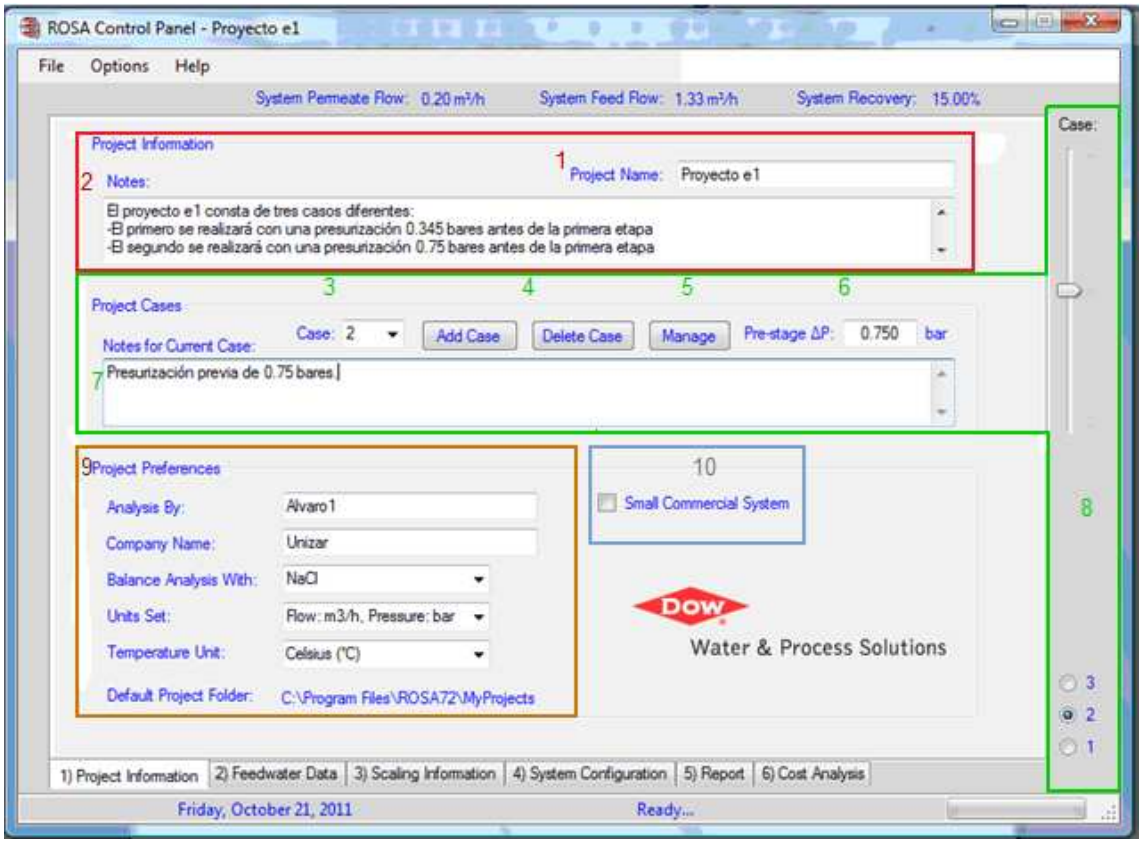


Figura 5.29: Partes de la ventana "1) Proyect Information"

Como se observa en la figura 5.29, la ventana se ha dividido en cuatro partes, acotadas por cuatro polígonos de colores:

- Información del proyecto (rectángulo rojo)
- Casos del proyecto (polígono verde)
- Preferencias del proyecto (rectángulo naranja)
- Tamaño del sistema (rectángulo gris)

A continuación se explicará cada parte, así como los botones y utilidades que presentan:

1) Información del Proyecto:

Esta parte de la ventana solamente presenta dos cuadros de texto:

- “Proyect Name” (Nombre del Proyecto), que está marcado en la figura 5.29 con el número 1. El nombre que se introduzca será el que lleve el proyecto en su conjunto, y será también el nombre por defecto que seleccione el programa a la hora de guardar el archivo.
- “Notes” (Notas), marcado con un número 2 en la figura 5.29. Este cuadro de texto sirve para anotar cualquier información que el usuario considere útil acerca del proyecto en ejecución. Por ejemplo, en la figura 5.29 se describen las tres presiones de alimentación que se usan en cada uno de los tres casos de los que consta el “proyecto e1”.

2) Casos del Proyecto:

Como ya se ha indicado, esta parte abarca todo el polígono verde, y su función es especificar cuántos casos posee el proyecto, así como indicar algunas características básicas de cada caso.

En primer lugar, resaltar que cada proyecto de ROSA puede tener un número variable de casos. Cada caso es totalmente independiente del resto: puede tener distintas aguas de alimentación, distinta configuración de la instalación, distintos caudales, diferentes temperaturas, etc...

Se ha dividido esta parte dedicada a los “Casos del Proyecto” en 6 elementos:

- Ventana desplegable de casos, marcado con un número 3 en la figura 5.29. Mediante esta ventana se puede seleccionar cualquier caso de los que posea el proyecto.

- Botones de “Add Case” (Añadir Caso) y “Delete Case” (Eliminar Caso), etiquetados con el número 4 en la figura 5.29. Mediante estos dos botones se regula el número de casos de los que dispone el proyecto.

- Botón de “Manage” (Gestionar), marcado con el número 5 en la figura 5.29. Al presionar este botón se abre la ventana de “Case Manager” (Gestor de Casos) que se muestra en la figura 5.30:

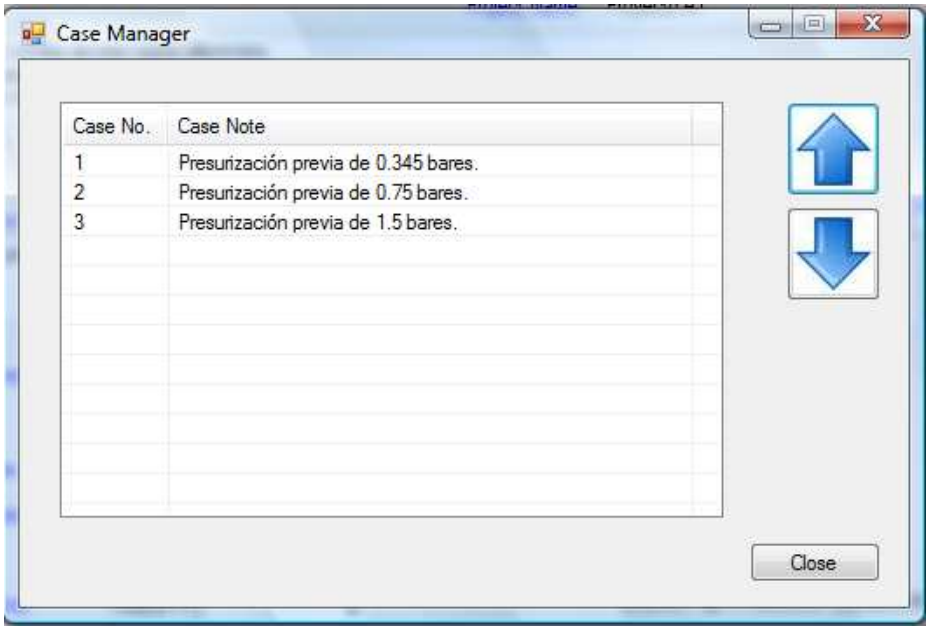


Figura 5.30: Ventana de “Case Manager”

Esta ventana es de gran utilidad para proyectos que presenten un gran número de casos, ya que muestra todos los casos ordenados, colocando a su derecha las notas de cada caso (“Case Note”), que indican las características de cada uno de ellos.

- Cuadro de texto de ”Pre-stage ΔP” (Presión antes de la primera etapa), marcado con un número 6 en la figura 5.29. En este cuadro de texto se rellena la presión (barométrica) previa que posee la alimentación para cada caso: los datos que se introduzcan serán guardados solamente para el caso que esté activado en ese momento. En el ejemplo de la figura 5.29, la presurización previa de 0,75 bares en la alimentación es sólo para el caso 2, que es el caso que está marcado. Las unidades de

presión que aparecen a la derecha del cuadro de texto son las que el usuario haya seleccionado para todo el proyecto, y si éstas son cambiadas (en “Proyect Preferences” o en “Options -> User Data -> Default Units”) éstas también cambiarán.

- Cuadro de texto de “Notes for Current Case” (Notas para el Caso Actual), etiquetado con el número 7 en la figura 5.29. En este cuadro de texto, el usuario puede escribir toda la información que le resulte útil acerca de cada uno de los casos de los que consta el proyecto. Esta información será la que se muestre en la ventana de “Case Manager”, como se vio en la figura 5.30.

  Al igual que el cuadro de “Pre-stage ΔP” y de la práctica totalidad del programa (a excepción de las partes en las que se especifique una característica del proyecto completo, como las unidades o el nombre de usuario) las notas que se introduzcan serán guardadas exclusivamente para el caso marcado, por lo que el usuario siempre tiene que tener presente en qué caso se encuentra.

- Selector de casos, marcado con el número 8 en la figura 5.29. Mediante esta herramienta se puede alternar entre casos de una manera más rápida que mediante la ventana desplegable de casos (número 3). Además, el selector de casos tiene la ventaja de encontrarse situado en el marco exterior del programa, por lo que se mantiene al cambiar de pestaña, y el usuario no se verá obligado a volver a la primera pestaña para cambiar el caso en ejecución.

  Para cambiar de caso con esta herramienta hay dos opciones: utilizar la barra desplazable situada en la parte superior, o utilizar el menú de botones de la parte inferior. El uso de los botones es mucho más rápido, sencillo e intuitivo, pero si el proyecto presenta más de 9 casos, desaparecen, por lo que solamente queda la opción de utilizar la barra.

3) Preferencias del Proyecto:

Esta parte de la ventana está rodeada por un rectángulo naranja, y marcada mediante un número 9 en la figura 5.29. Aquí se seleccionan las preferencias que se utilizarán en todo el proyecto: nombre del usuario, nombre de la compañía, compuesto con el que se realizará el análisis, unidades por defecto y la carpeta por defecto para guardar el proyecto.

Los 5 primeros campos corresponden a las preferencias ya descritas en Options -> User Data (apartado 5.1.2.4 del manual). Así pues, por defecto aparecerán todos los campos rellenados tal y como se especificó en “User Data”. No obstante, si se desea cambiar alguno, se puede modificar de la misma forma que se describió en dicho apartado.

La última línea, llamada “Default Proyect Folder” (Carpeta por Defecto del Proyecto) corresponde a la ruta en la que se guardará por defecto el proyecto en ejecución. Esta ruta solamente se puede modificar mediante la ventana Options -> Files and Folders, tal y como se especifica en el apartado 5.1.2.3 del manual.

4) Tamaño del Sistema

Esta última parte de la pestaña “1) Proyect Information” se ha recuadrado con un rectángulo gris, y etiquetado con el número 10 en la figura 5.29. Consta únicamente de una casilla, llamada “Small Commercial System” (Pequeño Sistema Comercial). Si esta casilla se encuentra desactivada, el programa mostrará todo el catálogo de membranas FILMTEC disponibles en ROSA.

Por el contrario, si la casilla se encuentra marcada, el programa entenderá que la instalación proyectada no es de gran envergadura y mostrará solamente su catálogo de membranas de tamaño inferior a 8.0" de diámetro.

5.2.2 Feedwater Data (Datos del Agua de Alimentación)

Una vez rellenados los campos de la primera pestaña, el siguiente paso consiste en presionar la segunda pestaña, accediendo a la ventana de "Feedwater Data", que como su nombre indica, tiene la función de recoger los datos relativos a las características del agua de alimentación. Esta ventana presenta el aspecto que se muestra en la figura 5.31:

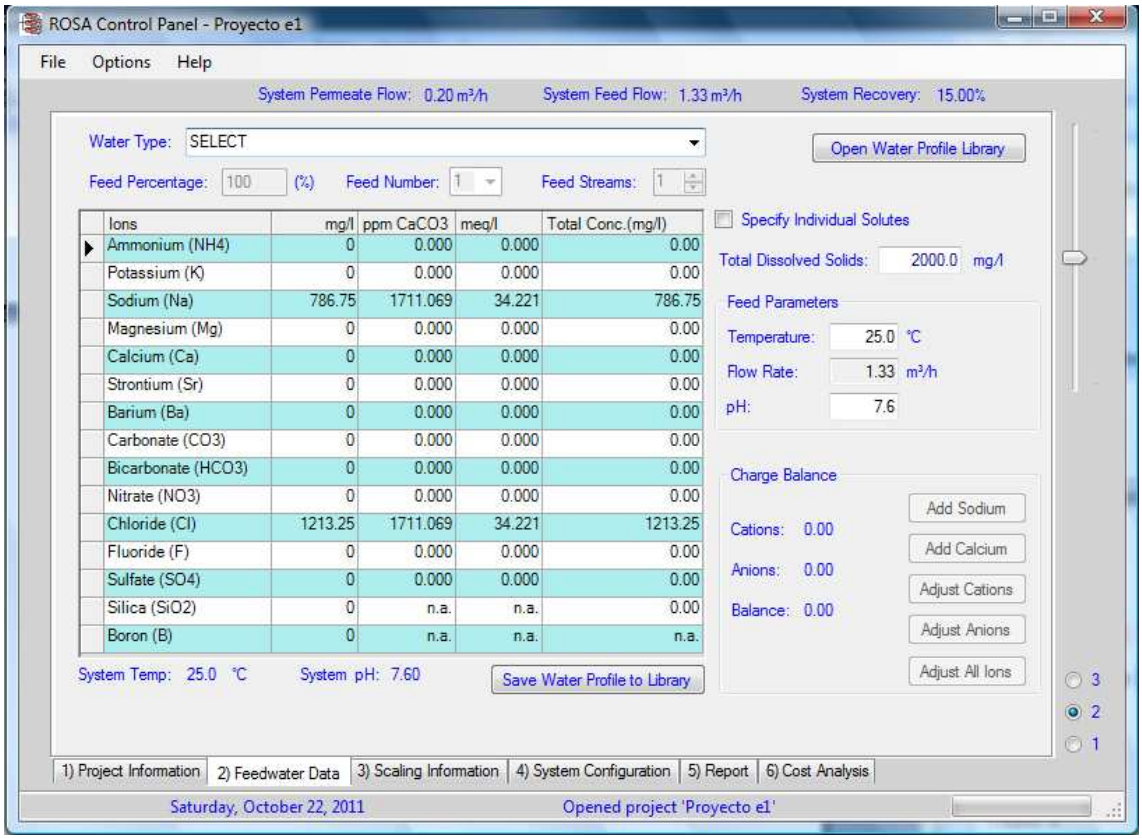


Figura 5.31: Pestaña de "2) Feedwater Data"

Tal y como se hizo para describir la ventana de "Proyect Information" en el punto anterior, en este caso también se ha dividido la ventana de "Feedwater Data" en varias partes numeradas para facilitar su explicación. La figura 5.32 muestra el resultado:

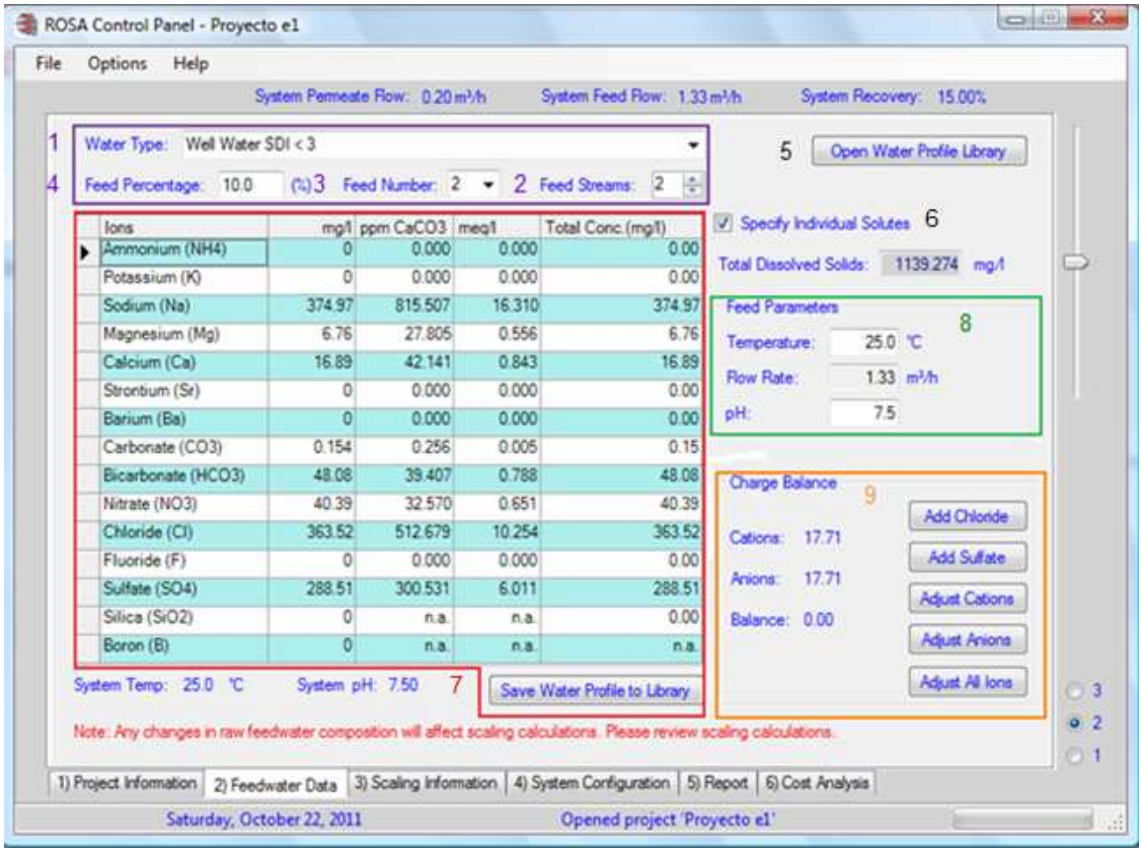


Figura 5.32: Partes de la ventana "2) Feedwater Data"

A continuación se explicará cada una de los números en las que se ha dividido la ventana en la figura 5.32. Los polígonos de colores agrupan botones y cuadros de texto que se refieren a temas comunes.

1) Water Type (Tipo de Agua):

El número 1 corresponde a una ventana desplegable, en la cual el usuario debe elegir qué tipo de agua es la que se utiliza como alimentación. Esta clasificación del tipo de agua es bastante general, y se hace atendiendo a su procedencia, tratamiento previo y SDI. En la figura 5.33 se muestran las opciones disponibles:

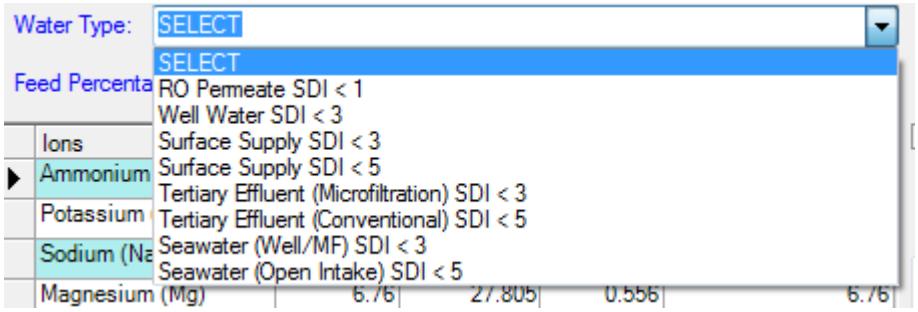


Figura 5.33: Selección de tipos de agua

Los tipos de agua que se pueden seleccionar son los siguientes:

- "RO Permeate SDI<1": La alimentación es un permeado de un sistema de ósmosis inversa, con un SDI (*Silt Density Index*) menor que 1.
- "Well Water SDI<3": La alimentación consiste en agua de pozo (generalmente salobre), con un SDI menor que 3.
- "Surface Supply SDI<3": La alimentación consiste en agua de superficie (generalmente salobre), con un SDI menor que 3.
- "Surface Supply SDI<5": La alimentación consiste en agua de superficie (generalmente salobre), con un SDI menor que 5.
- "Tertiary Effluent (Microfiltration) SDI<3": La alimentación consiste en un efluente terciario que ya ha sido sometido previamente a una microfiltración como tratamiento previo. Dicho efluente presenta un SDI menor que 3.
- "Tertiary Effluent (Conventional) SDI<5": La alimentación consiste en un efluente terciario que ha sido sometido a un pretratamiento convencional[2], por lo que tiene un SDI menor que 5
- "Seawater (Well/MF) SDI<3": La alimentación consiste en agua marina capturada mediante un pozo, o bien en agua marina de superficie sometida a un pretratamiento de microfiltración. En cualquier caso, su SDI no puede ser superior a 3.
- "Seawater (Open Intake) SDI<5": La alimentación consiste en agua marina capturada directamente del mar mediante toma abierta.

Como se puede deducir tras ver las opciones disponibles, previamente a la introducción de la alimentación en el sistema de ósmosis inversa que se está proyectando, va a ser necesario realizar un pretratamiento con el objetivo principal de reducir su SDI por debajo (como mínimo) de 5, ya que en caso contrario, las membranas se obstruirían muy rápidamente.

---

[2] En "pretratamiento convencional" se engloba, de manera general, a todos los tratamientos previos (tamizado, coagulación-floculación, decantación…) a excepción de aquellos que utilizan membranas, como la micro y la ultrafiltración.

2) Feed Streams (Corrientes de Alimentación):

Este cuadro, marcado en la figura 5.32 con un 2, da al programa el número de corrientes de alimentación distintas que entran al sistema. Por defecto se encuentra fijada en 1, pero si el usuario desea aumentar el número de corrientes de alimentación (presionando a la flecha superior del cuadro de texto), ROSA presentará una ventana preguntando si se desea añadir otra corriente de alimentación al sistema. Si se presiona "Yes", emergerá una segunda ventana como la que se presenta en la figura 5.34:

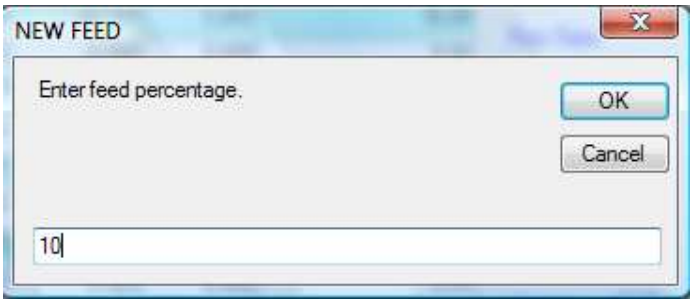


Figura 5.34: Ventana de "New Feed"

En esta nueva ventana se pregunta el porcentaje de caudal que circulará por la nueva entrada. Si se marca un 10%, eso significará que el 10% del caudal de alimentación circulará por la corriente 2, y el 90% lo hará por la corriente 1. Es posible introducir tantas corrientes de entrada como se desee.

Tras seleccionar el porcentaje, ROSA mostrará una tercera ventana, que presenta el aspecto que se muestra en la figura 5.35:

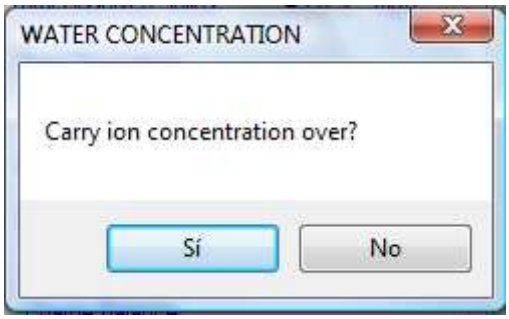


Figura 5.35: Ventana de "Water Concentration"

En esta ventana se pregunta al usuario si la nueva corriente de alimentación presentará las mismas características químicas que el resto. En caso de pulsar a “Sí”, el programa entenderá que la nueva corriente de entrada tiene la misma composición que las demás, mientras que si se pulsa a “No”, el programa tendrá presente que esta nueva corriente presenta características químicas diferentes.

3) Feed Number (Número de Corriente de Alimentación):

En esta ventana desplegable, marcada en la figura 5.32 con un 3, se selecciona la corriente de alimentación en la que se desea realizar cambios. Todos los cambios que se realicen en la ventana de “Feedwater Data” (composición química, temperatura, pH, porcentaje de la alimentación total…) se guardarán únicamente para la corriente de alimentación que esté seleccionada en este cuadro de texto, por lo que es importante que el usuario conozca en todo momento qué corriente de alimentación tiene seleccionada.

4) Feed Percentage (Porcentaje de alimentación):

El cuadro de texto enumerado en la figura 5.32 con un 4 y titulado “Feed Percentage” da el porcentaje de la alimentación total que supone la corriente seleccionada en “Feed Number”. Este porcentaje puede modificarse, teniendo en cuenta que su modificación supondrá también cambios en los flujos del resto de corrientes.

5) Open Water Profile Library (Abrir Biblioteca de tipos de Aguas)

Este botón, marcado con un número 5 en la figura 5.32, da acceso a una biblioteca en la que se encuentran almacenados los tipos (o perfiles) de agua que haya guardado el usuario. Al clicar sobre él aparecerá una ventana como la que se muestra en la figura 5.36:

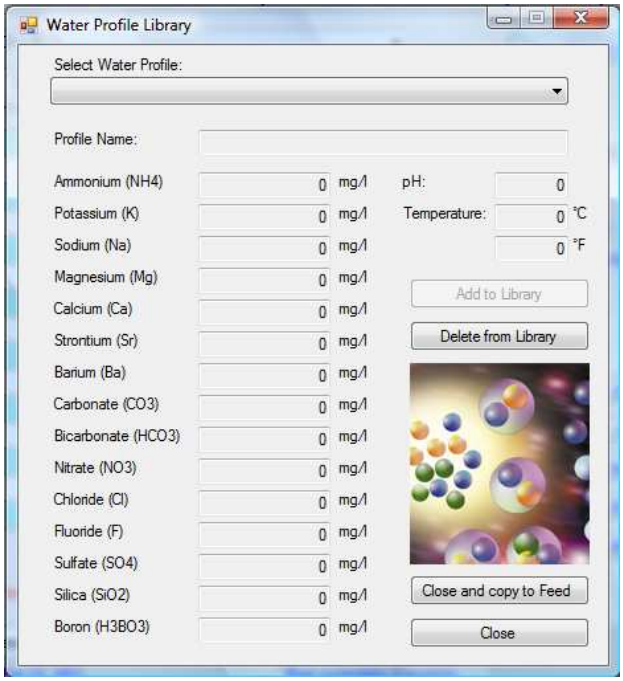


Figura 5.36: Ventana de "Water Profile Library"

Mediante esta ventana se pueden realizar varias acciones relacionadas con la composición química del agua de alimentación:

¡) <u>Guardar un tipo de agua en la biblioteca:</u>

Para guardar un tipo de agua en la biblioteca es necesario partir de la ventana principal de "Feedwater Data". Esta acción se explicará en el punto principal: "7) Tabla de Composiciones".

ii) <u>Cargar un tipo de agua en la biblioteca:</u>

Una vez en la ventana de "Water Profile Library", el ususario debe clicar sobre la ventana desplegable titulada "Select Water Profile" situada en la parte superior. Al hacerlo, aparecerán los tipos (o perfiles) de agua que se hayan guardado previamente. Estos perfiles poseen la extensión .wat, tal y como se muestra en la figura 5.37:

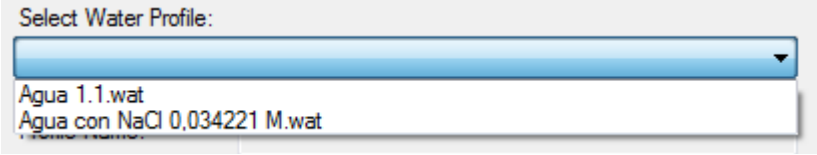


Figura 5.37: Ventana desplegable de selección de un perfil de agua

Una vez seleccionado un perfil de agua, la ventana desplegable se cerrará, y el usuario retornará a la ventana de "Water Profile Library", en la cual se habrán cargado las composiciones guardadas en dicho perfil. Para pasar dichas composiciones al programa, es necesario clicar el botón "Close and copy to Feed", tras lo cual se cerrará la ventana y el programa volverá a la ventana de "Feedwater Data", en la cual se encontrarán guardadas las composiciones del perfil de agua que se haya cargado.

iii) Borrar un tipo de agua de la biblioteca:

Para borrar un tipo de agua de la biblioteca, en primer lugar es necesario seleccionar un perfil de agua, tal y como se explicó en el apartado anterior. Una vez seleccionado, hay que clicar sobre el botón "Delete from Library". Tras esto, aparecerá una ventana en la que se pide que el usuario confirme si desea eliminar el perfil de agua de la biblioteca. Pulsando al botón "Sí", se confirmará la eliminación de dicho perfil de agua.

iv) Salir de la biblioteca de tipos de aguas:

Para salir de la biblioteca de perfiles de agua sin pasar datos a la ventana principal de "Feedwater Data", el usuario debe clicar sobre el botón "Close", situado en la parte inferior de la ventana.

6) Specify Individual Solutes (Especificar Solutos Individuales)

Esta casilla, marcada con un número 6 en la figura 5.32, es de gran importancia en el funcionamiento de la ventana de "Feedwater Data":

- Si está desactivada, ROSA no permite cambios en las corrientes de alimentación ("Feed Percentage", "Feed Number" y "Feed Streams" se bloquean) y desactiva la función de biblioteca de perfiles de agua (por lo que desaparecerán los botones de "Open Water Profile Library" y "Save Water Profile to Library").

Además, la tabla de concentraciones (véase punto 7 de este apartado) estará totalmente bloqueada, por lo que el usuario no podrá introducir los datos del agua de alimentación. En lugar de eso, el programa entenderá que el agua de alimentación contiene únicamente NaCl como compuestos disueltos. Esta cantidad de NaCl se podrá regular mediante el cuadro de texto llamado "Total Dissolved Solids" que se encuentra inmediatamente debajo de la casilla que se está describiendo. En él, el usuario debe introducir la concentración total en mg/l de NaCl, ya que se entiende que la corriente de alimentación no presenta otros iones. Una vez introducido ese dato, el programa lo pasará inmediatamente a la tabla de concentraciones, que se rellenará automáticamente.

Para pasar a la siguiente pestaña principal: "3) Scaling Information", ROSA necesita un análisis completo del agua de alimentación, por lo que en caso de no estar marcada, el usuario no podrá acceder a la pestaña en cuestión, y deberá pasar directamente a la cuarta pestaña principal: "4) System Configuration".

- Si se activa, ROSA vuelve a dejar hacer uso de la biblioteca de perfiles de agua y desbloquea todos los botones, tablas y cuadros de texto que se encontraban bloqueados cuando la casilla estaba sin marcar. La única excepción es el cuadro de "Total Dissolved Solids", que se bloquea puesto que ha perdido su función.

7) Tabla de Composiciones:

El número 7 de la figura 5.32 corresponde a la tabla de composición química del agua de alimentación junto con el botón "Save Water Profile to Library". Esta composición química hace referencia únicamente a las sustancias disueltas y a la sílice, el resto de materia sólida presente en el agua se indica mediante el SDI de la ventana "Water Type", tal y como se vio en la figura 5.33.

A continuación se muestra ampliada la tabla de composición química del agua de alimentación (ver figura 5.38):

Ions	mg/l	ppm CaCO3	meq/l	Total Conc.(mg/l)
Ammonium (NH4)	0	0.000	0.000	0.00
Potassium (K)	0	0.000	0.000	0.00
Sodium (Na)	374.97	815.507	16.310	374.97
Magnesium (Mg)	6.76	27.805	0.556	6.76
Calcium (Ca)	16.89	42.141	0.843	16.89
Strontium (Sr)	0	0.000	0.000	0.00
Barium (Ba)	0	0.000	0.000	0.00
Carbonate (CO3)	0.154	0.256	0.005	0.15
Bicarbonate (HCO3)	48.08	39.407	0.788	48.08
Nitrate (NO3)	40.39	32.570	0.651	40.39
Chloride (Cl)	363.52	512.679	10.254	363.52
Fluoride (F)	0	0.000	0.000	0.00
Sulfate (SO4)	288.51	300.531	6.011	288.51
Silica (SiO2)	0	n.a.	n.a.	0.00
Boron (B)	0	n.a.	n.a.	n.a.

Figura 5.38: Tabla de composición química del agua de alimentación

Como se puede observar en la figura 5.38, en la primera columna se muestran los compuestos químicos disueltos que pueden estar presentes en una mayor concentración en el agua de alimentación, tanto cationes (NH_4^+, K^+, Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}…) como aniones (CO_3^{2-}, HCO_3^-, Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}…).

Las siguientes tres columnas indican la concentración de cada uno de esos compuestos en varias unidades: la primera lo expresa en mg/l, la segunda en ppm de $CaCO_3$ y la tercera en miliequivalentes/l.

La cuarta columna muestra la concentración total del ión en mg/l, que es la unidad de concentración que más se utiliza en ROSA. Esta columna, a diferencia de las tres anteriores, no sirve para la introducción de datos.

Los iones se pueden ordenar en la tabla según su orden alfabético ascendente o descendente (pulsando a la casilla “Ions”). También se pueden colocar en orden creciente o decreciente de concentración (pulsando la casilla de unidades de concentración en función de la cual el usuario pretenda ordenarlos).

Haciendo doble clic sobre el nombre de un compuesto químico, el usuario tiene la posibilidad de cambiar su nombre.

Para especificar las características químicas del agua, el usuario tiene dos opciones:

a) Cargar un perfil de agua ya guardado en la biblioteca, tal y como se explicó en el punto “5) Open Water Profile Library”.

b) Rellenar manualmente la tabla de composición química: para cada fila, es decir, para cada ión, el usuario deberá introducir su concentración en las unidades que desee, el programa se encargará de pasar dicha concentración al resto de unidades.

Como se puede observar en la figura 5.32, debajo de la tabla de composición química se sitúa el botón “Save Water Profile to Library”, cuya utilidad es la de guardar un perfil de agua en la biblioteca de aguas.

Para guardar un perfil de agua es necesario rellenar manualmente la tabla de composiciones con las características del agua que se desee guardar, así como seleccionar un tipo de agua en “Water Type” (tal y como se mostró en la figura 5.33). Tras rellenar la tabla y seleccionar el tipo de agua, el usuario deberá pulsar el botón de “Save Water Profile to Library”, tras lo cual el programa abrirá la ventana de “Water Profile Library”, ya vista en el punto anterior. Esta ventana presentará el aspecto de la figura 5.36, con la diferencia de que en este caso el botón de “Add to Library” y el cuadro de texto de “Profile Name” estarán desbloqueados.

El usuario deberá rellenar el cuadro de texto llamado “Profile Name” con el nombre del perfil de agua creado. Una vez puesto el nombre, deberá pulsar el botón “Add to Library” para guardarlo en la biblioteca de perfiles de agua. Una ventana confirmará que el perfil de agua se ha guardado correctamente, tras lo cual el usuario deberá pulsar el botón de “Close” para volver a la ventana principal de “Feedwater Data”.

8) Feed Parameters (Parámetros de la Alimentación)

En el cuadro verde marcado con un número 8 en la figura 5.32, el usuario tiene que introducir algunas de las variables más importantes de la corriente de alimentación. De arriba a abajo:

- Temperature (Temperatura): En este cuadro de texto se introduce la temperatura a la que llega la corriente de entrada. En el caso de que haya varias corrientes de alimentación, sólo se referirá a aquella que esté seleccionada en “Feed Number”, y la temperatura media del sistema se mostrará en letra azul tras el título “System Temp”, justo debajo de la columna “Ions” de la tabla de composiciones.

  Es importante resaltar que en caso de que en “Water Type” se haya elegido “Seawater”, es decir agua marina, junto al cuadro de texto de “Temperature” aparecerá un botón con el nombre “Max Temp”. El usuario deberá pulsar este botón, tras lo cual aparecerá una ventana llamada “High Temperature Effect”. En esta ventana hay presentes dos elementos interactivos:

  -Casilla llamada “Account for flux loss at maximum temperature” (Tener en cuenta la pérdida de flujo debida a la temperatura máxima).

  -Cuadro de texto llamado “Maximum Temperature” (Máxima temperatura).

  Si el usuario activa la casilla, entonces ROSA incluirá la función de histéresis descrita en el apartado 4.2.3.1.1: debido a las elevadas presiones y salinidades que va a soportar la membrana, su exposición a elevadas temperaturas provocará una pérdida irreversible del flujo que es capaz de permear a través de ella, ya que tendrá lugar un proceso de compactación de la membrana.

Una vez haya activado la casilla, en el cuadro de texto de “Maximum Temperature”, el usuario deberá introducir el pico máximo de temperatura a la cual la membrana ha sido o va a ser sometida, ya que dicho proceso de compactación es irreversible.

Con los datos especificados en esta ventana, ROSA introducirá dicha información en sus cálculos internos, de forma que la simulación resulte lo más realista posible.

- Flow Rate (Caudal): Este cuadro de texto muestra el caudal que lleva la corriente de alimentación. En este punto del programa no se puede modificar, sino que el valor de dicho caudal se dará en la pestaña “4) System Configuration”.

- pH: En este cuadro de texto se introduce el pH que posee la corriente de alimentación. En el caso de que haya más de una, solamente se referirá a aquella que esté seleccionada en “Feed Number”, y el pH medio del sistema se mostrará en letra azul tras el título “System pH”, a la derecha de la indicación de “System Temp”.

  A la hora de variar el pH, ROSA únicamente añade H^+ y OH^-, sin alterar las concentraciones introducidas de K^+, Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Cl^-, NO_3^- o SO_4^{2-}, pero hay que tener en cuenta que un cambio de pH provocará también una alteración en el equilibrio CO_3^{2-}/HCO_3^-, modificando sus concentraciones. Este cambio de concentraciones será el causante de que, si el usuario varía el pH de la alimentación, es probable que posteriormente se vea obligado a realizar un ajuste en el balance de cargas, tal y como se verá en el siguiente punto de este apartado.

9) Charge Balance (Balance de Cargas):

El rectángulo naranja marcado con un numero 9 en la figura 5.32 corresponde al apartado de balance de cargas del agua de alimentación. Puesto que la suma de cargas positivas ha de ser exactamente igual a la suma de cargas negativas, es posible que el tipo de agua introducida no sea válida. Para saberlo, el usuario deberá recurrir a la herramienta de balance de cargas, que presenta el aspecto que se muestra en la figura 5.39:

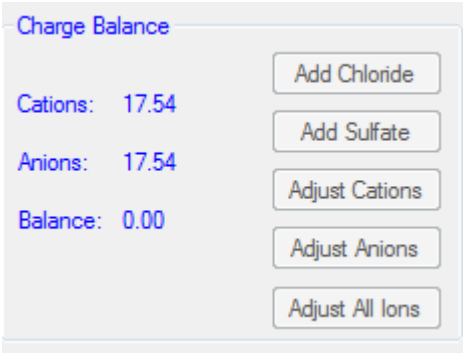


Figura 5.39: Herramienta de Balance de Cargas

En letra azul se indica el balance de cargas. En la figura 5.39, se observa que tanto los aniones como los cationes presentan el mismo valor en dicho balance (17,54), por lo que la resta entre ambos (indicada tras la palabra “Balance”) será 0, luego el tipo de agua será correcta y los cinco botones de ajuste de la derecha se mantendrán bloqueados.

En caso de que los cationes presenten mayor carga que los aniones, aparecería un “Balance” mayor que 0, y se desbloquearían los botones de la derecha, que serán los que siguen:

- <u>“Add Chloride” (Añadir Cl^-)</u>

  Al pulsarlo, el programa añade cloruros en la tabla de composición hasta que el balance se equilibre, y las cargas de aniones y cationes sean iguales.
- <u>“Add Sulfate” (Añadir SO_4^{2-})</u>

  Al pulsarlo, el programa añade sulfatos en la tabla de composición hasta que el balance se equilibre, y las cargas de aniones y cationes sean iguales.

- Adjust Cations (Ajustar Cationes)

  Al pulsarlo, el programa reajusta las concentraciones de todos los cationes presentes en la tabla de composiciones (con concentración distinta de 0), de forma que su carga iónica total se reduzca, ajustándose a la que presentan los aniones.
- Adjust Anions (Ajustar Aniones)

  Al pulsarlo, el programa reajusta las concentraciones de todos los aniones presentes en la tabla de composiciones (con concentración distinta de 0), de forma que su carga iónica total aumente hasta igualarse a la que presentan los cationes.
- Adjust All Ions (Ajustar Todos los Iones)

  Al pulsarlo, el programa hace la media aritmética entre los valores de carga iónica total de los cationes y de los aniones. Los cationes presentes en la tabla verán disminuida su concentración, mientras que los aniones la aumentarán, hasta que ambos tipos de iones alcancen el valor medio de carga iónica total calculado por ROSA.

También puede presentarse el caso contrario: que la carga iónica total de los aniones sea superior a la de los cationes. En ese caso, en el apartado "Balance" aparecerá un valor negativo, y se desbloquearían los botones de ajuste, que es este caso serían ligeramente distintos:

- "Add Sodium" (Añadir Na^{+})

  Al pulsarlo, el programa añade iones sodio en la tabla de composición, aumentando la carga iónica total de los cationes hasta que el balance se equilibre.
- "Add Calcium" (Añadir Ca^{2+})

  Al pulsarlo, el programa añade iones calcio en la tabla de composición hasta equilibrar el balance.
- Adjust Cations (Ajustar Cationes)

  Al pulsarlo, el programa reajusta las concentraciones de todos los cationes presentes en la tabla de composiciones, aumentándolas hasta que su carga iónica total alcance a la de los aniones.

- Adjust Anions (Ajustar Aniones)

  Al pulsarlo, el programa reajusta las concentraciones de todos los aniones presentes en la tabla de composiciones, disminuyéndolas hasta que la fuerza iónica total de los aniones sea igual a la de los cationes.

- Adjust All Ions (Ajustar Todos los Iones)

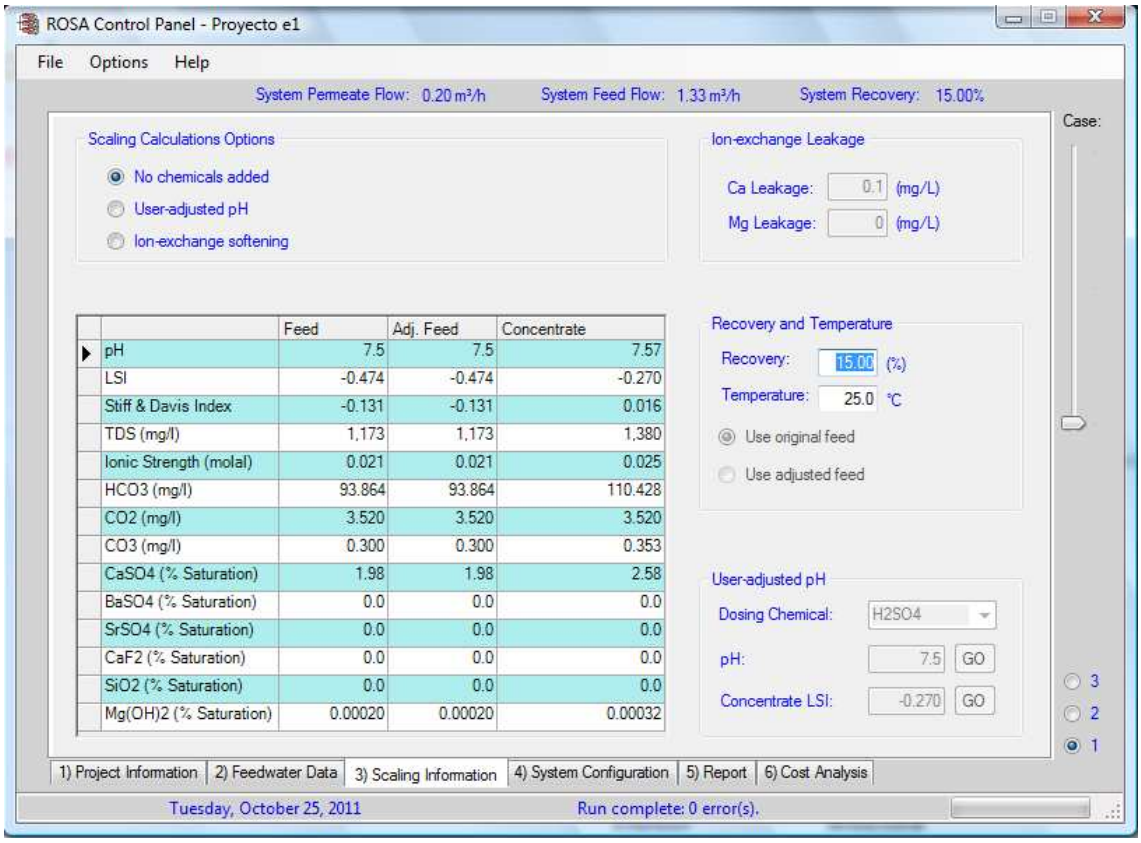
  Al pulsarlo, el programa hace la media aritmética entre los valores de carga iónica total de los cationes y de los aniones. Los cationes presentes en la tabla verán aumentada su concentración, mientras que los aniones la disminuirán, hasta que ambos tipos de iones alcancen el valor medio de carga iónica total calculado por ROSA.

5.2.3 Scaling Information (Ampliar Información)

Una vez el usuario ha rellenado correctamente todos los datos de la ventana "2) Feedwater Data", para continuar deberá pulsar la tercera pestaña: "3) Scaling Information". Esta pestaña conduce a una ventana en la que el usuario deberá ampliar la información acerca de la corriente de alimentación.

Si en "Feedwater Data" no se pulsó el botón de "Specify Individual Solutes", ROSA no permitirá el acceso a la ventana, y el usuario tendrá que pasar directamente a la cuarta pestaña ("4) System Configuration"). En caso contrario, deberá rellenar la ventana tal y como se explica a continuación.

La ventana de "Scaling Information" presenta el aspecto que se muestra en la figura 5.40:



	Feed	Adj. Feed	Concentrate
pH	7.5	7.5	7.57
LSI	-0.474	-0.474	-0.270
Stiff & Davis Index	-0.131	-0.131	0.016
TDS (mg/l)	1,173	1,173	1,380
Ionic Strength (molal)	0.021	0.021	0.025
HCO3 (mg/l)	93.864	93.864	110.428
CO2 (mg/l)	3.520	3.520	3.520
CO3 (mg/l)	0.300	0.300	0.353
CaSO4 (% Saturation)	1.98	1.98	2.58
BaSO4 (% Saturation)	0.0	0.0	0.0
SrSO4 (% Saturation)	0.0	0.0	0.0
CaF2 (% Saturation)	0.0	0.0	0.0
SiO2 (% Saturation)	0.0	0.0	0.0
Mg(OH)2 (% Saturation)	0.00020	0.00020	0.00032

Figura 5.40: Pestaña de "3) Scaling Information"

En la figura 5.41 se ha dividido y enumerado la ventana, de forma que se facilite su explicación:

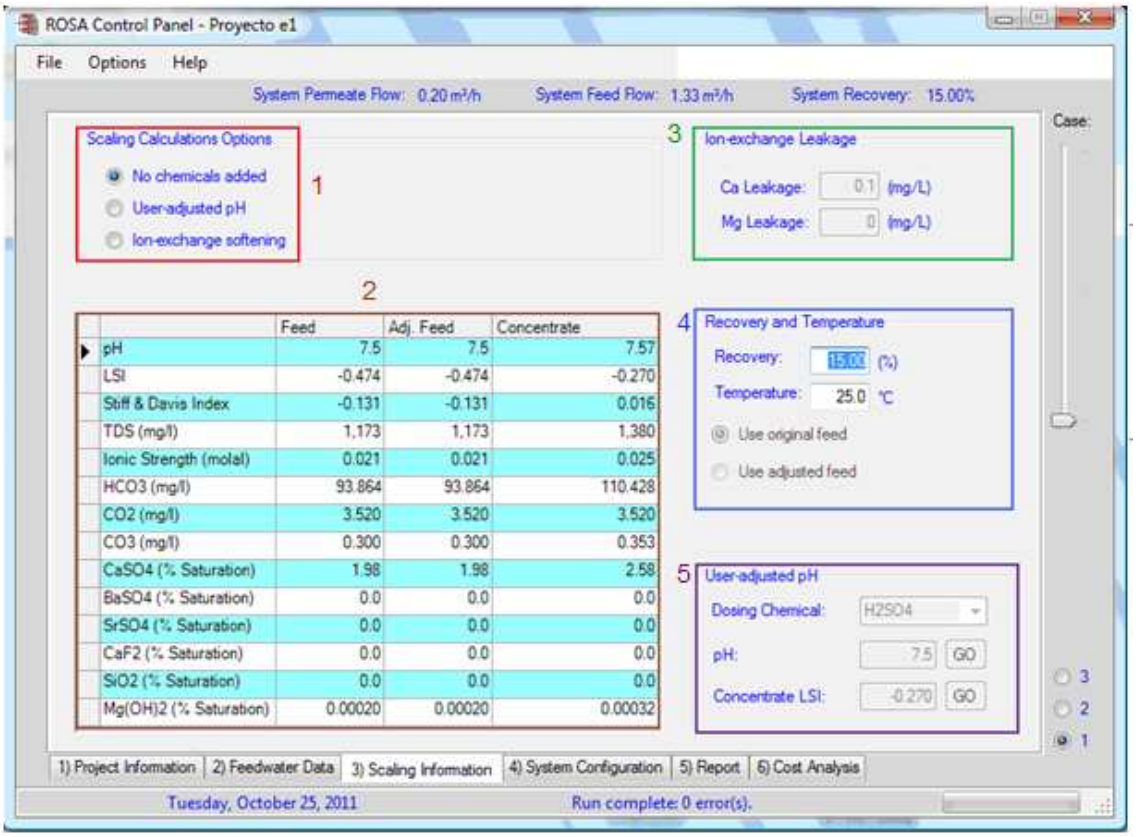


Figura 5.41: Partes de la ventana "3) Scaling Information"

Como se observa en la figura 5.41, la ventana se ha dividido en cinco partes, numeradas y acotadas por rectángulos de diferentes colores:

- 1: "Scaling Calculation Options" (Opciones de Cálculo).
- 2: Tabla de parámetros.
- 3: "Ion-exchange Leakage" (Salida del Intercambio Iónico).
- 4: "Recovery and Temperature" (% de Recuperación y Temperatura).
- 5: "User-adjusted pH" (Ajuste del pH).

En las páginas siguientes se explicará cada una de estas partes.

1) Scaling Calculation Options (Opciones de Cálculo)

El rectángulo rojo marcado con un número 1 en la figura 5.41 corresponde a las opciones que el usuario dispone a la hora de qué hacer con el agua de alimentación que se definió en la pestaña anterior. Hay tres opciones, representadas mediante tres casillas seleccionables (sólo se puede marcar una), a saber:

- "No chemicals added" (No añadir productos químicos):
  Al marcar esta opción, el usuario establece que la corriente de alimentación no sufra ningún proceso químico antes de su introducción en los módulos de ósmosis inversa. Debido a esto, si la casilla está marcada, se bloquearán automáticamente las partes de "Ion-exchange Leakage" (número 3 en la figura 4.41) y "User-adjusted pH" (número 5 en la figura 5.41), por lo que el usuario solamente podrá regular la temperatura y el porcentaje de recuperación de la corriente de alimentación.

- "User-adjusted pH" (Ajuste del pH):
  Seleccionando esta opción, el usuario establece que la corriente de alimentación pasa por una etapa previa de ajuste del pH antes de su introducción en los módulos de ósmosis inversa. Así pues, si se marca esta casilla, el programa desbloqueará la parte de "User-adjusted pH", aunque la parte de "Ion-exchange Leakage" se mantendrá bloqueada.

- "Ion-exchange softening" (Ablandamiento mediante intercambio iónico):
  Esta opción establece que el agua de alimentación pase por una etapa previa de reducción de su dureza mediante intercambio iónico. Esta reducción de dureza afectará a los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+}, disminuyendo su concentración. Al marcar esta casilla, el programa desbloqueará la parte de "Ion-exchange Leakage", aunque la parte de "User-adjusted pH" se mantendrá bloqueada.

2) Tabla de parámetros:

El rectángulo marrón marcado con un número 2 en la figura 5.41 encuadra a la tabla de parámetros. Esta tabla es de sólo lectura, y en ella se incluyen los parámetros más importantes que definen el agua de alimentación. En la figura 5.42 se muestra la tabla de parámetros ampliada:

	Feed	Adj. Feed	Concentrate
pH	7.5	7.5	7.57
LSI	-0.524	-0.524	-0.320
Stiff & Davis Index	-0.181	-0.181	-0.035
TDS (mg/l)	1,171	1,171	1,378
Ionic Strength (molal)	0.021	0.021	0.025
HCO3 (mg/l)	89.285	89.285	105.041
CO2 (mg/l)	3.348	3.348	3.348
CO3 (mg/l)	0.285	0.285	0.336
CaSO4 (% Saturation)	1.93	1.93	2.51
BaSO4 (% Saturation)	0.0	0.0	0.0
SrSO4 (% Saturation)	0.0	0.0	0.0
CaF2 (% Saturation)	0.0	0.0	0.0
SiO2 (% Saturation)	0.0	0.0	0.0
Mg(OH)2 (% Saturation)	0.00020	0.00020	0.00032

Figura 5.42: Tabla de Parámetros

La primera columna corresponde a los parámetros en cuestión (pH, LSI, TDS, etc…).

La segunda columna (“Feed”) indica el valor de cada parámetro en la corriente bruta de alimentación, es decir, antes de sufrir ningún ajuste.

La tercera columna (“Adj. Feed”) indica el valor de cada parámetro en la corriente ajustada de alimentación. Esta corriente es la que sale de la etapa previa seleccionada (intercambio iónico o ajuste del pH). En el caso de que se encuentre marcada la casilla “No chemicals added”, esta columna coincidirá con la anterior.

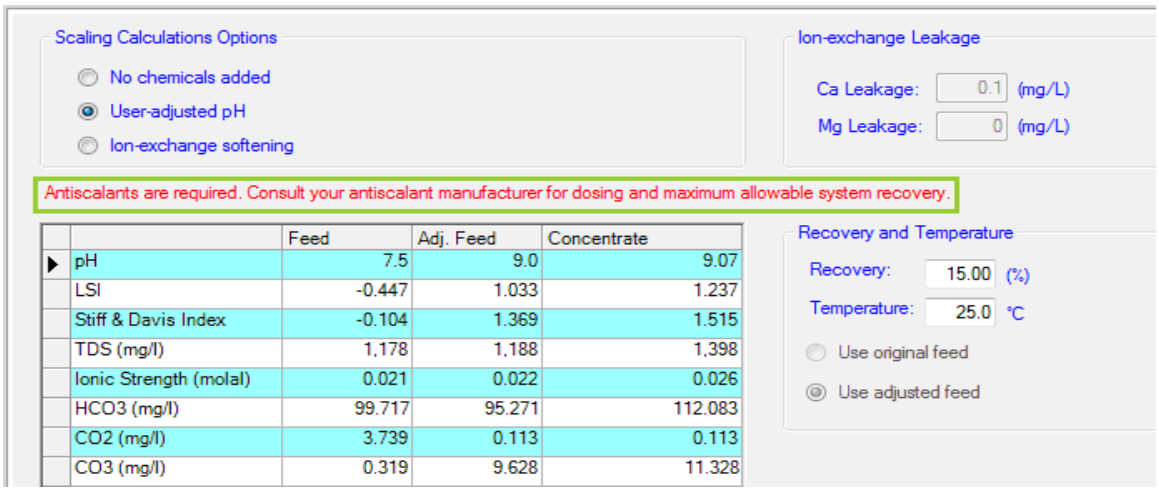
La cuarta columna (“Concentrate”) indica el valor de cada parámetro en la corriente de rechazo que habría si se aplicase el porcentaje de recuperación

indicado en el cuadro de texto de “Recovery”, que se explicará más adelante (en la parte de “Recovery and Temperature”).

La totalidad de los parámetros que aparecen en la tabla mostrada en la figura 5.42 ya fueron descritos en el apartado 4.2.2 de este manual (“Parámetros de calidad del agua”).

Como se puede observar, en esta tabla de parámetros se incluyen gran cantidad de índices que se refieren a la posible precipitación de alguna sal poco soluble: el LSI y el S&DSI para la precipitación del $CaCO_3$ o los parámetros que indican el % de saturación del $CaSO_4$, $BrSO_4$, $SrSO_4$, CaF_2, SiO_2 y $Mg(OH)_2$. Se puede comprobar que todos estos parámetros se ven fuertemente influidos por el pH del medio, por lo que la elección del pH óptimo (que se verá en el punto 5 de este apartado) será de gran importancia para evitar precipitaciones de sales poco solubles.

En el caso de que el agua presente condiciones incrustantes, el programa avisará al usuario mediante un letrero con letras rojas. En dicho aviso, se le recomienda consultar a un fabricante de anti-incrustantes. El aviso en cuestión se ha resaltado en la figura 5.43:



	Feed	Adj. Feed	Concentrate
pH	7.5	9.0	9.07
LSI	-0.447	1.033	1.237
Stiff & Davis Index	-0.104	1.369	1.515
TDS (mg/l)	1,178	1,188	1,398
Ionic Strength (molal)	0.021	0.022	0.026
HCO3 (mg/l)	99.717	95.271	112.083
CO2 (mg/l)	3.739	0.113	0.113
CO3 (mg/l)	0.319	9.628	11.328

Figura 5.43: Aviso de condiciones incrustantes

3) Ion-exchange Leakage (Salida de intercambio iónico)

El rectángulo verde marcado con un número 3 en la figura 5.41 corresponde a la parte dedicada al tratamiento previo de la corriente de alimentación mediante su paso por resinas de intercambio iónico.

Este tratamiento previo está destinado a reducir la concentración de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} de la corriente de alimentación antes de que ésta sea introducida en los módulos de ósmosis inversa. Hay que tener en cuenta de que al reducir la concentración de cationes calcio, el LSI se reducirá, convirtiendo al agua ajustada en más corrosiva. Por el contrario, las propiedades anti-incrustantes del agua aumentarán.

Como ya se ha mencionado, la parte de tratamiento por intercambio iónico solamente se encontrará desbloqueado si se ha marcado la casilla "Ion-exchange softening" en "Scaling Calculation Options". Si está desbloqueado, el usuario podrá rellenar dos cuadros de texto:

- "Ca Leakage": En este cuadro de texto se introduce el valor al que se quiere reducir la concentración de iones Ca^{2+} (en mg/l) en la corriente de alimentación ajustada.

- "Mg Leakage": En este cuadro de texto se introduce el valor al que se quiere reducir la concentración de iones Mg^{2+} (en mg/l) en la corriente de alimentación ajustada.

El usuario tiene que tener presente que un tratamiento previo con intercambio iónico no sólo reducirá la concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+}, sino que también eliminará todo tipo de cationes divalentes. Esto puede resultar de gran utilidad en el caso de que en la instalación se den problemas debidos a precipitaciones de sulfatos, de hidróxido de magnesio o de fluoruro de calcio.

4) Recovery and Temperature (% de Recuperación y Temperatura)

La parte dedicada al % de recuperación y a la temperatura se encuentra rodeada por un rectángulo azul y numerada con un 4 en la figura 5.41. Esta parte de la tercera pestaña se encuentra siempre desbloqueada, y presenta dos cuadros de texto y un indicador.

En el primer cuadro de texto (titulado “Recovery”), el usuario puede introducir el % del caudal de alimentación que quiere que atraviese la membrana. Modificando este valor, se observa que los parámetros referidos a la corriente de rechazo (columna “Concentrate” en la tabla de parámetros) se modifican. Así pues, el usuario puede ver qué condiciones va a presentar el rechazo en función del porcentaje introducido. Esta es la única función del cuadro de texto “Recovery”, ya que el verdadero cociente entre el permeado y la alimentación se introducirá en la siguiente pestaña principal. El valor introducido en este cuadro de texto desaparecerá en cuanto el usuario cambie de pestaña.

El segundo cuadro de texto corresponde a la temperatura a la que se desea introducir la alimentación a los módulos de ósmosis inversa. Esta temperatura corresponde a la introducida en la pestaña de “Feedwater Data”, por lo que si se introduce un valor distinto al introducido en dicha pestaña, el programa actualizará este último valor. No obstante, en el caso de que existan más de una corriente de entrada a diferentes temperaturas, el usuario no podrá modificarlas desde esta pestaña, y sólo podrá hacerlo desde la pestaña de “Feedwater Data”. ROSA permite introducir temperaturas de hasta 65 ºC, y a partir de los 45 ºC comienza a avisar de que se trata de temperaturas elevadas.

Debajo del cuadro de texto de la temperatura, se encuentra un marcador que consta de dos casillas:

- Use original feed
- Use adjusted feed

Estas casillas siempre se encuentran bloqueadas, y solamente indican qué tipo de alimentación se va a introducir en los módulos: en caso de que se realicen tratamientos previos (ajuste del pH o intercambio iónico), se encontrará

seleccionada la casilla “Use adjusted feed” (Usar alimentación ajustada”. En cambio, si no se realizan tratamientos previos, o lo que es lo mismo, si en “Scaling Calculation Options” se seleccionó “No chemicals added”, la casilla que estará marcada será “Use original feed” (Usar alimentación original).

5) User-adjusted pH (Ajuste del pH)

El rectángulo violeta marcado con un número 5 en la figura 5.41 corresponde a la parte dedicada al tratamiento previo de la corriente de alimentación mediante un ajuste de su pH.

Como ya se ha mencionado, la parte destinada al ajuste de pH solamente se encontrará desbloqueada si se ha marcado la casilla “User-adjusted pH” en “Scaling Calculation Options”.

En el caso de que se encuentre desbloqueada, el usuario tendrá a su disposición una ventana desplegable y dos cuadros de texto.

La ventana desplegable titulada “Dosing Chemical” corresponde al compuesto químico con el cual el usuario desea realizar el ajuste de pH. Esta ventana presenta el aspecto que se muestra en la figura 5.44:

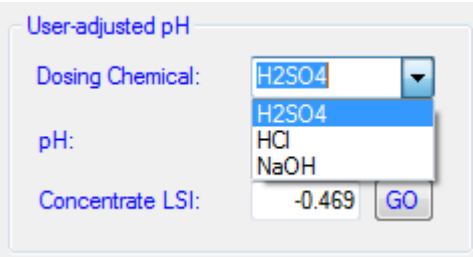


Figura 5.44: Compuestos químicos para el ajuste de pH

Como se observa en la figura 5.44, el ajuste de pH de la alimentación se puede realizar mediante tres compuestos:

- H_2SO_4
- HCl
- NaOH

Los dos primeros, al ser ácidos, serán de utilidad para reducir el valor del pH, mientras que el tercer compuesto, al ser una base, será el encargado de aumentar su valor.

Una vez el usuario haya seleccionado el compuesto con el cual desea realizar el ajuste de pH, deberá pasar a los dos cuadros de texto que se encuentran debajo:

- pH
- Concentrate LSI

Puesto que estas variables son dependientes, especificar una equivaldrá a especificar la otra, por lo que el usuario solamente tendrá que introducir un valor en una de los dos cuadros de texto.

El cuadro de texto llamado “pH” corresponde al valor de pH que el usuario desea en la corriente de alimentación ajustada.

El cuadro de texto llamado “Concentrate LSI” corresponde al valor del parámetro LSI que el usuario desea en la corriente de rechazo (aplicando el “%Recovery” introducido previamente). Este parámetro es de gran importancia debido a que es en la corriente de rechazo en la que hay una mayor concentración de sales, por lo que es en dicha corriente en la que más fácilmente van a precipitar sales poco solubles. Entre esas sales poco solubles, es el $CaCO_3$ la que mayor riesgo presenta, de ahí la importancia del parámetro LSI en la corriente de rechazo: cuanto mayor sea su valor, más probable va a ser que se den incrustaciones de carbonato cálcico en las instalaciones. Como se indicó en la descripción del LSI (apartado 4.2.2), un valor aceptable del LSI en el concentrado es de -0,20.

Si el agua de alimentación presenta un elevado valor de sólidos disueltos totales (TDS), ROSA cambiará automáticamente el nombre de este último cuadro de texto por el de “Concentrate S&DSI”, utilizando el parámetro “Stiff &

Davis Index” en vez del LSI, debido a su mejor funcionamiento para disoluciones concentradas.

Es importante anotar que al modificar el pH, también cambian parámetros que dan las propiedades incrustantes del agua, como el LSI, el S&DSI o los porcentajes de saturación de sales poco solubles. Generalmente, el riesgo de precipitaciones de sólidos aumenta con el pH, mientras que aguas con pH bajos no dan problemas de precipitaciones, pero suelen presentar propiedades corrosivas.

5.2.4 System Configuration (Configuración del Sistema)

Una vez completada la pestaña “3) Scaling Information”, el usuario deberá continuar con el proyecto pulsando la cuarta pestaña: “System Configuration”.

La pestaña de “System Configuration” conduce a la ventana del mismo nombre, que presenta el aspecto que se muestra en la figura 5.45:

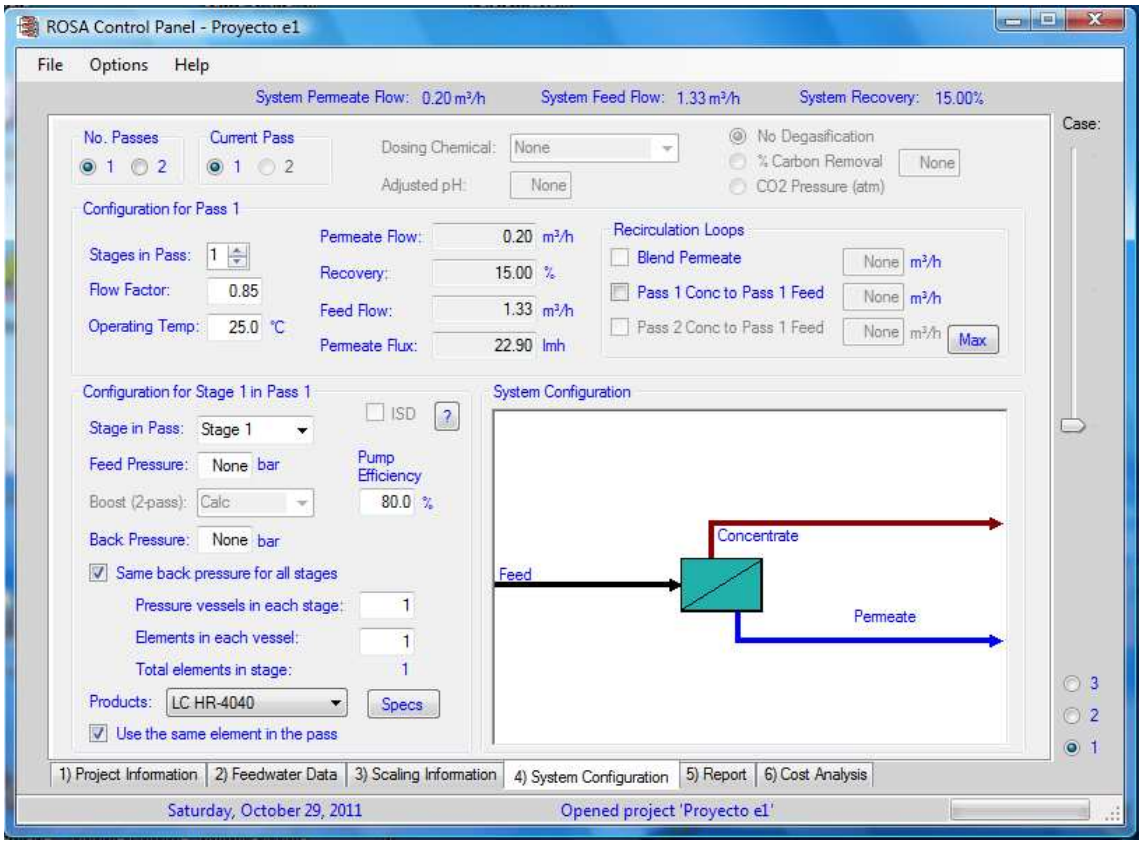


Figura 5.45: Ventana “4) System Configuration”

Como se puede apreciar en la figura 5.45, la ventana de System Configuration presenta mayor complejidad que el resto de ventanas principales vistas hasta ahora. En ella, el usuario deberá definir todas las características del sistema de ósmosis inversa que desee ejecutar: número de pasos, número de etapas, recirculaciones, flujos, temperaturas, tipos de membranas, etc.

Para describir con mayor facilidad la ventana, ésta se ha dividido en cinco partes numeradas (tal y como se muestra en la figura 5.46) siendo éstas:

- 1: “System Configuration” (Configuración del Sistema).
- 2: Selección de pasos.
- 3: “Configuration for Pass a” (Configuración para el Paso a).
- 4: Ajuste del pH en la entrada del segundo paso.
- 5: “Configuration for Stage b in Pass a” (Configuración para la Etapa b en el Paso a).

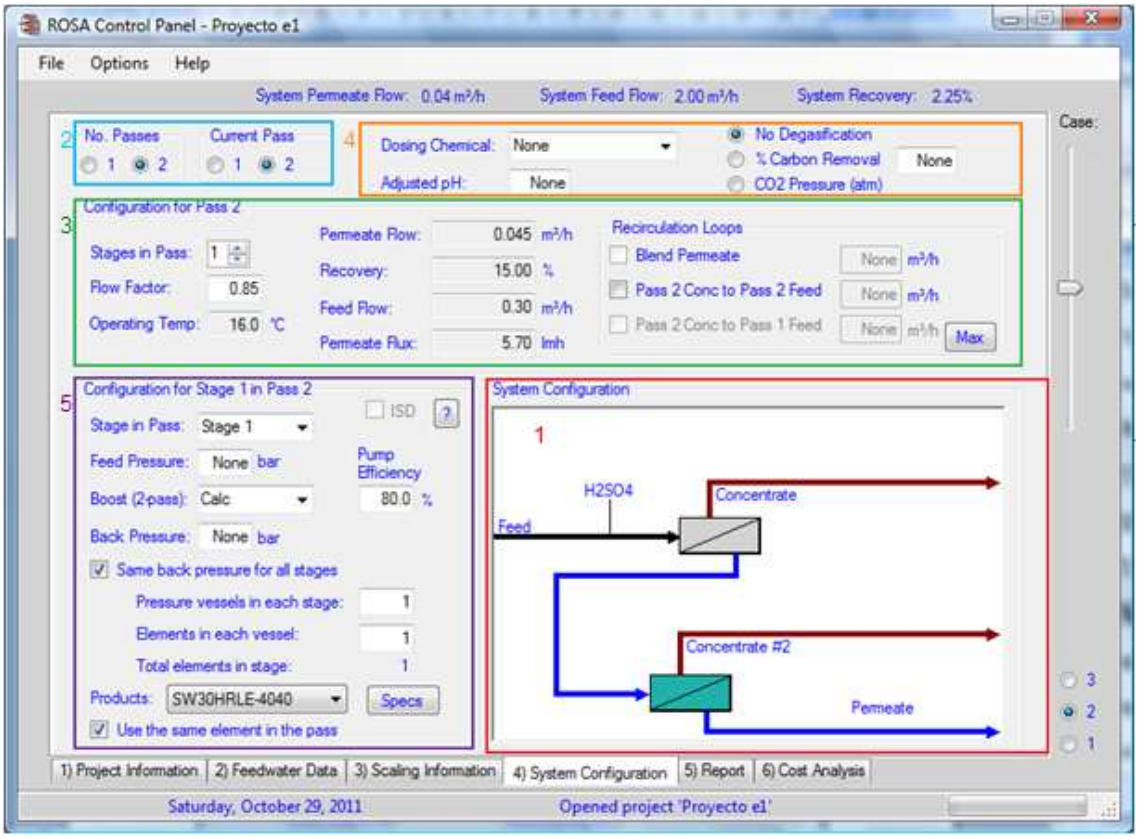


Figura 5.46: Partes de la ventana “4)System Configuration”

En las páginas siguientes se explicará detalladamente cada una de estas secciones.

1) System Configuration (Configuración del Sistema)

El rectángulo rojo marcado con un número 1 en la figura 5.46 corresponde al esquema en el cual el programa muestra cómo está configurado físicamente el sistema de ósmosis inversa. El esquema se irá actualizando automáticamente según el usuario vaya modificando las opciones presentes en la ventana. En caso en el que sea necesario introducir corrientes nuevas en el sistema (por ejemplo, para modificar el pH), el esquema las mostrará.

El programa ROSA utiliza una nomenclatura de pasos y etapas:

- Por paso entiende un conjunto de etapas. Este conjunto de etapas son alimentadas exteriormente mediante una corriente de alimentación, y sus permeados se recolectan formando la corriente de permeado general de dicho paso.

  ROSA permite la instalación de hasta dos pasos. La alimentación que entra al segundo paso corresponderá al permeado general de todas las etapas del primer paso.

- Cada paso está constituido por un número determinado de etapas. Cada etapa recibirá como alimentación el rechazo de la etapa anterior, por lo que el rechazo de la última etapa del paso constituirá el rechazo general de dicho paso.

  En cambio, los permeados de cada etapa se recolectan en el permeado general del paso, que puede guardarse como producto o introducirse como alimentación en el siguiente paso.

En la figura 5.47 se muestra el esquema de configuración de un sistema que consta de dos pasos. El pH de la alimentación del primer paso se modifica mediante adición de H_2SO_4. La alimentación del segundo paso sufre una eliminación de CO_2 (rectángulo rojo) y posteriormente una adición de NaOH antes de ser introducida en el módulo.

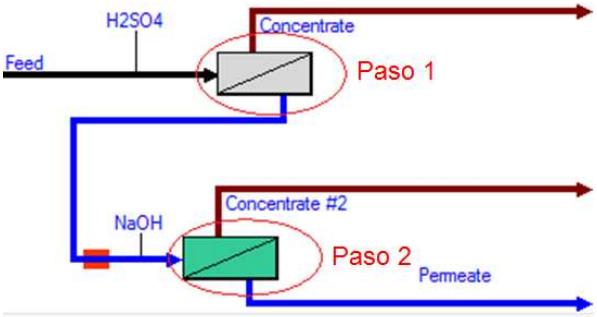


Figura 5.47: Ejemplo de esquema con dos pasos simples

En la figura 5.48 se muestra el mismo sistema, pero con la diferencia de que en este caso, el segundo paso presenta dos etapas.

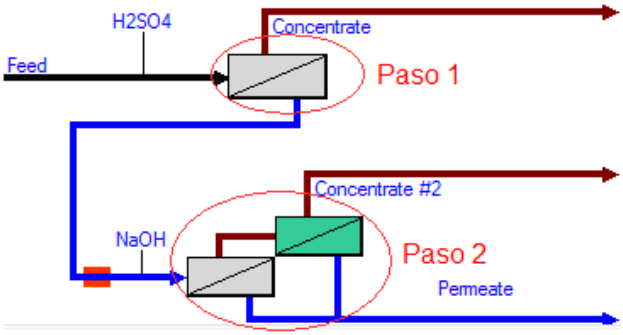


Figura 5.48: Ejemplo de esquema con dos pasos y tres etapas

El esquema de “System Configuration” permite cambiar rápidamente entre etapas y pasos simplemente clicando sobre la etapa que se desee seleccionar, que se coloreará de verde. De esta forma, el usuario puede saber rápidamente en qué etapa y dentro de qué paso se encuentra. Así por ejemplo, en la figura 5.48, el usuario se encuentra en la segunda etapa del segundo paso (para más información acerca de la creación y selección de pasos ver el punto siguiente: “2) Selección de pasos”).

Al mantener el cursor sobre las etapas, corrientes o nombres del esquema, el programa hará aparecer una pequeña ventana de información indicando alguna característica importante del elemento sobre el que se mantiene el cursor. Por ejemplo, si se mantiene el cursor sobre la corriente “Feed”, aparecerá una ventana con el siguiente texto: “Flow = 2 m^3/h; pH=7,6”.

2) Selección de pasos

El rectángulo azul marcado con un número 2 en la figura 5.46 corresponde a la parte en la cual el usuario decidirá el número de pasos de los que consta la instalación, así como el paso que está seleccionado en ese momento.

En “No. passes”, el usuario debe marcar el número de pasos que quiere en su instalación: 1 ó 2. Se recuerda que un paso consiste en una o varias etapas que reciben un mismo tipo de alimentación. Si por ejemplo se observa la figura 5.48, se verá que la instalación esquematizada consta de dos pasos: el primero de una etapa y el segundo de dos etapas.

En “Current pass”, el usuario debe marcar el paso que desea que esté seleccionado en ese momento. Como se indicó en el punto anterior, este cambio de paso también puede realizarse a través del esquema de “System Configuration”, simplemente clicando sobre una etapa que se encuentre dentro del paso al que se desea cambiar.

Al cambiar el paso seleccionado, las partes de “Configuration for Pass a”, “Ajuste del pH en la entrada del segundo paso” y “Configuration for Stage b in Pass a” cambiarán, como ya se indicará en los puntos 3, 4 y 5 respectivamente dentro de este apartado. Así pues, es de gran importancia conocer en todo momento qué paso está seleccionado, puesto que todos los cambios que se realicen afectarán únicamente al paso que se encuentre marcado en esta parte de la ventana.

3) “Configuration for Pass a” (Configuración para el Paso a)

El rectángulo verde marcado con un número 3 en la figura 5.46 corresponde a la parte en la cual el usuario decide las características globales del paso “a” (siendo “a” 1 ó 2) que se encuentre seleccionado en la casilla de “Current pass”. En la figura 5.49 se muestra esta parte ampliada y clasificada

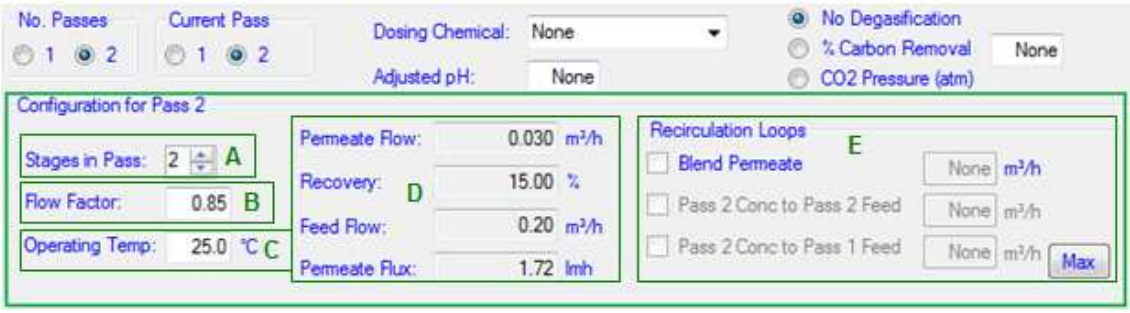


Figura 5.49: "Configuration for Pass a"

En la figura 5.49 se ha dividido esta sección de la ventana en varias zonas, que se explicarán una a una, de acuerdo a la letra asignada:

A) "Stages in Pass" (Etapas en el Paso): en este cuadro se selecciona el número de etapas de las que consta el paso que se encuentre seleccionado en la casilla "Current Pass". En el caso mostrado en la figura 5.49, con la selección realizada se está indicando que el paso 2 consta de 2 etapas. ROSA permite un máximo de 9 etapas por paso.

B) "Flow Factor" (Factor de Flujo): en este cuadro de texto, el usuario deberá introducir el factor de flujo que presenta el paso seleccionado en ese momento (en el ejemplo de la figura 5.49, el paso 2). Este factor de flujo corresponderá a todo el paso, por lo que se aplicará en todas sus etapas. No obstante, cada paso puede presentar un factor de flujo distinto.

Para más información acerca de la selección del factor de flujo, ver el apartado 4.2.3.1.2 de este manual.

C) "Operating Temp" (Temperatura de Operación): en este cuadro de texto, el usuario deberá introducir la temperatura a la que se llevará a cabo la operación de separación, es decir, la temperatura en el interior de los módulos. Esta temperatura será igual a la de la corriente de alimentación, por lo que se mostrará aquella que fue introducida en las pestañas "2)Feedwater Data" y/o "3)Scaling Information". Si el usuario modifica en este cuadro de texto la temperatura introducida en estas dos

pestañas anteriores, entonces sus campos se actualizarán, mostrando la nueva temperatura de la corriente de alimentación.

D) "Flow Calculator" (Calculadora de Flujo): En la figura 5.49 se han agrupado cuatro cuadros de texto en torno a la letra "D". Estos cuatro cuadros de texto ("Permeate Flow", "Recovery", "Feed Flow" y "Permeate Flux") son meramente informativos: no es posible escribir sobre ellos. En cambio, cuando se intenta rellenar cualquiera de estos campos, ROSA abre automáticamente la ventana de "Flow Calculator", que presenta el aspecto que se muestra en la figura 5.50 (sistemas de un paso) o 5.53 (sistemas de dos pasos).

D1) Flow Calculator para sistemas de un paso:

Si el usuario ha indicado (en "No Passes") que el sistema conste de un único paso, la calculadora de flujo presentará el aspecto mostrado en la figura 5.50:

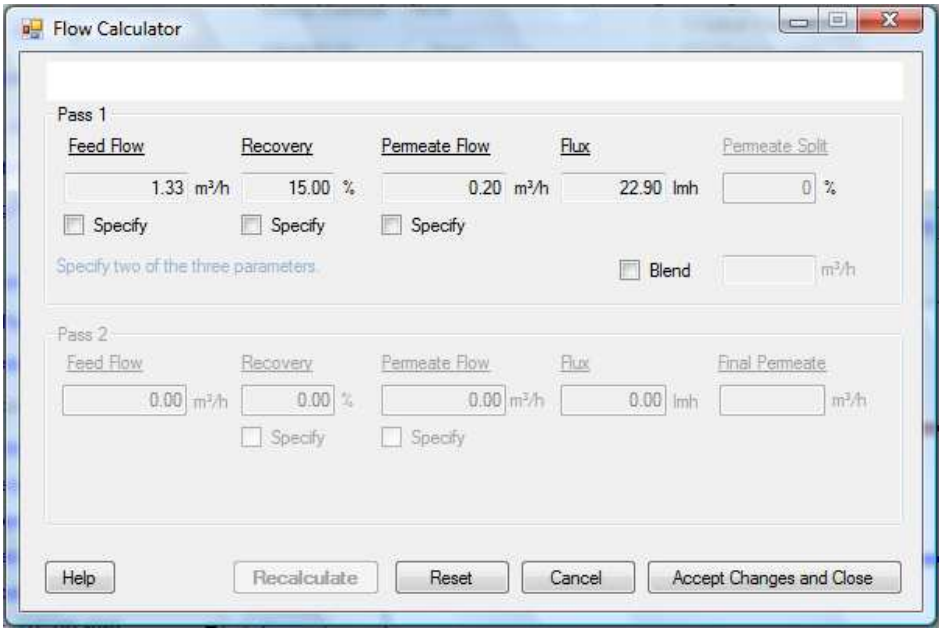


Figura 5.50: Ventana de "Flow Calculator", sistema de un paso.

En este caso, se observa que todas las opciones referidas al segundo paso ("Pass 2") están bloqueadas, por lo que el usuario dispone de tres parámetros principales:

- Feed Flow: Caudal de la alimentación, en m^3/h.
- Recovery: Cociente entre el caudal de la permeado y el de alimentación, en porcentaje.
- Permeate flow: Caudal de permeado que atraviesa dicho paso, en m^3/h.

Debajo de cada uno de estos parámetros se muestra una casilla, titulada "Specify" (Especificar). Marcando dicha casilla, se indica al programa que el usuario fija el valor de dicho parámetro. No se pueden rellenar parámetros que no estén especificados.

Nótese que ROSA informa del número de parámetros que hay que especificar. En el caso que se está mostrando, puesto que no se ha fijado ninguna presión (véase apartado 5.2.4.5), quedan libres dos grados de libertad, por lo que el programa indicará: "Specify two of the three parameters" (Especifique dos de los tres parámetros). En caso de que se fijase una presión de alimentación (tal y como se describirá en el apartado 5.2.4.5), los grados de libertad disponibles disminuirían, y el usuario solamente podría especificar un parámetro, que obligatoriamente debería ser el caudal de alimentación ("Feed Flow").

Así pues, para que para que la calculadora de flujo sea capaz de realizar los cálculos, el problema planteado debe estar correctamente especificado: si se fijan menos parámetros de los necesarios, ROSA mostrará en rojo un letrero avisando "Under-specified". En cambio, si se introducen más parámetros de los necesarios, el cartel cambiará por "Over-specified".

Junto a los tres parámetros principales, aparece también un parámetro de sólo lectura denominado "Flux". Este parámetro indica, en lmh ($l/m^2 \cdot h$) los litros de permeado que atraviesan cada hora 1 m^2 de membrana. Puesto que en este parámetro interviene el área de contacto que presente la membrana, es evidente que cambiará en función de la

membrana que se encuentre seleccionada para ese módulo en dicho momento. Para cambiar el tipo de membrana, ver el apartado 5.2.4.5.

Una vez se hayan especificado correctamente los parámetros indicados, el programa desbloqueará el botón “Recalculate”, que en cualquier otro caso se mantendrá bloqueado. Una vez se pulse dicho botón, el programa calculará el valor de los parámetros no marcados. Por ejemplo, si se especifica un “Feed Flow” de 2 m^3/h y un “Recovery“ del 20%, al pulsar “Recalculate”, el programa determinará que el parámetro “Permeate Flow” valdrá 0,40 m^3/h, y el parámetro de solo lectura llamado “Flux” tendrá un valor de 45,81 lmh.

Además de los parámetros y botones ya descritos, la calculadora de flujo también presenta la opción de que una parte del permeado del primer paso sea conducido al permeado general, en lugar de al segundo paso. Esta opción se denomina “Permeate Split” (División del Permeado), y puesto que se está describiendo una instalación con un solo paso, en este caso dicha opción se encuentra desactivada (tal y como se muestra en la figura 5.50). Esta opción se describirá en el apartado D2, en el que se tratan sistemas de dos pasos.

Debajo de “Permeate Split” se encuentra la casilla “Blend” (Mezclar). Al marcar dicha casilla se desbloqueará el campo situado a su derecha, en el que el usuario podrá escribir el valor (en m^3/h) del caudal de mezcla. Este caudal de mezcla aparecerá en la parte de “Recirculation Loops” (ver apartado E), e indica el caudal que se desvía de la alimentación para llevarlo directamente al permeado, tal y como se muestra en la figura 5.51:

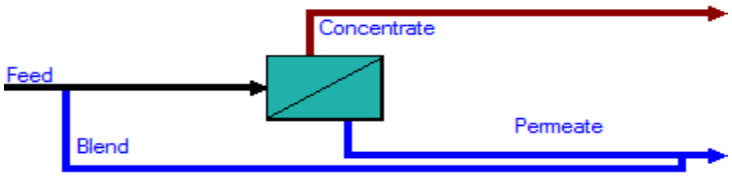


Figura 5.51: Sistema de un paso con "Blend Permeate"

Una vez el usuario haya terminado de calcular los parámetros del sistema (mediante el botón "Recalculate", como ya se ha indicado), deberá pulsar el botón "Accept Changes and Close" para que toda la información contenida en la ventana de "Flow Calculator" se refleje en el resto del programa. Si en cambio pulsa en botón "Cancel", la ventana se cerrará sin aportar cambios al sistema.

El botón "Reset" devuelve todos los parámetros de la ventana "Flow Calculator" a su valor original.

El botón "Help" abre una ventana de ayuda, en la que se describe en inglés las características principales de la calculadora de flujo. Esta ventana tiene la apariencia que se muestra en la figura 5.52:

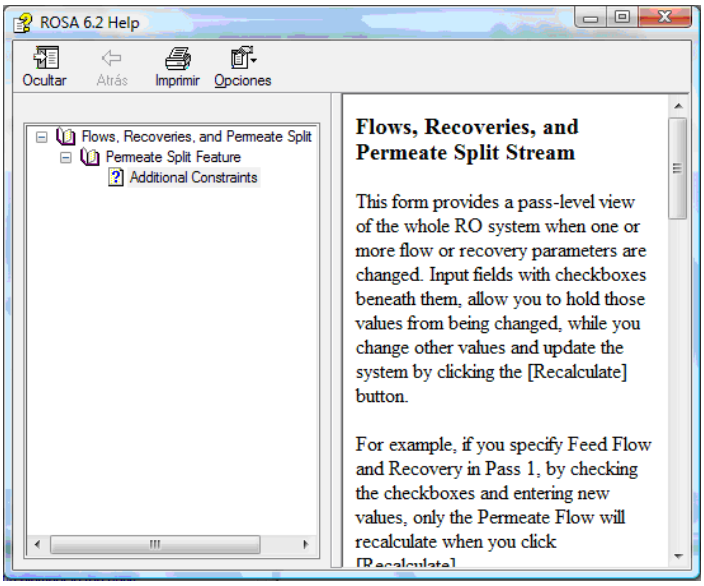


Figura 5.52: Ventana de ayuda de "Flow Calculator"

D2) Flow Calculator para sistemas de dos pasos:

Si el usuario ha indicado (en “No Passes”) que el sistema conste de dos pasos, la calculadora de flujo presentará el aspecto mostrado en la figura 5.53:

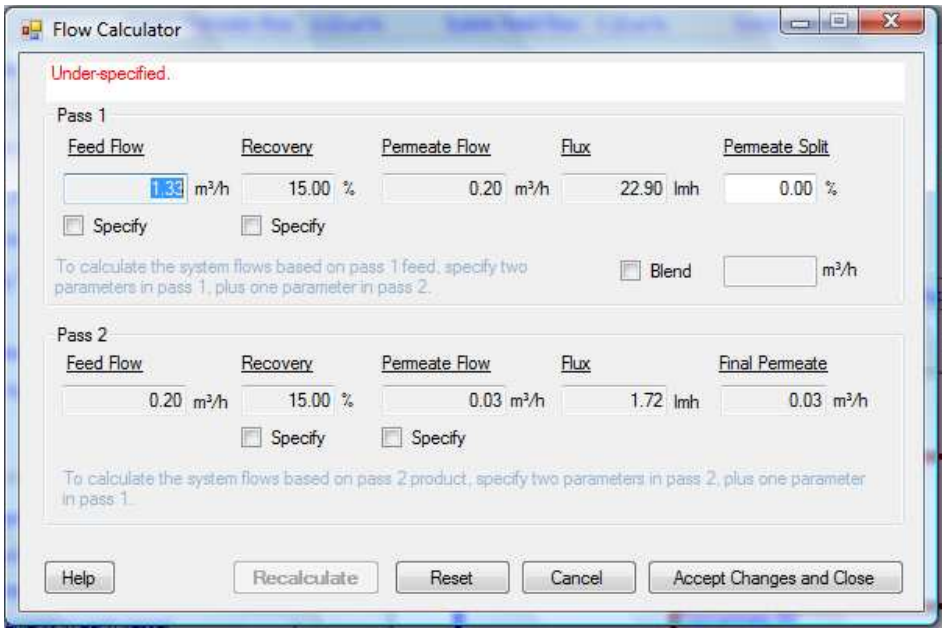


Figura 5.53: Ventana de “Flow Calculator”, sistema de dos pasos.

En este caso, se observa que todas las opciones referidas al segundo paso (“Pass 2”) están desbloqueadas, por lo que habrá una mayor complejidad a la hora de especificar los flujos y recirculaciones.

Todas las características y opciones referidas al paso 1 son exactamente iguales que las mostradas en el apartado D1, con la excepción de que en este caso, al haber dos pasos, el cuadro de texto de “Permeate Split” (División del Permeado) se encuentra desbloqueado. Como ya se mencionó, en dicho cuadro de texto el usuario deberá introducir el porcentaje del caudal de permeado de la primera etapa del primer paso que se conduce al permeado general, en lugar de ser llevado como alimentación al segundo paso, tal y como se muestra en la figura 5.54 (el flujo de “Permeate Split” se muestra en color verde claro).

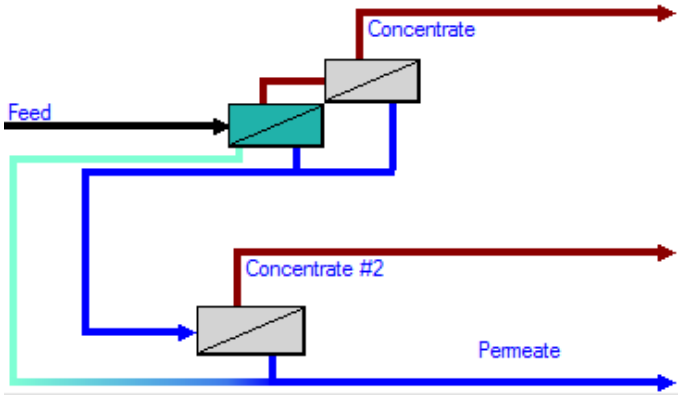


Figura 5.54: Sistema de dos pasos con "Permeate Split"

Es importante resaltar que el flujo de "Permeate Split" consiste en una recirculación del permeado de la 1ª etapa del 1er paso al permeado general, no del permeado del primer paso al permeado general, tal y como ocurrirá con el flujo "Blend".

Hay que apuntar que en caso de que se introduzca un "Permeate Split", a la hora de indicar las recirculaciones del sistema en "Recirculation Loops" no se podrán seleccionar las características "Blend Permeate" ni "Pass 1 Conc to Pass 1 Feed" (véase apartado E).

La opción "Blend" funciona de igual modo que el descrito para sistemas de un solo paso (véase apartado D1), y como ya se mencionó, no puede estar activado si la instalación posee un "Permeate Split". La única diferencia respecto de los sistemas con un solo paso es que en este caso, el flujo denominado "Blend" se toma del permeado total saliente del primer paso, uniéndose al permeado general, tal y como se muestra en la figura 5.55.

Nótese que esta opción difiere del "Permeate Split" en que la recirculación no se hace del permeado de la primera etapa del paso 1, sino que se recircula una fracción del permeado general del primer paso.

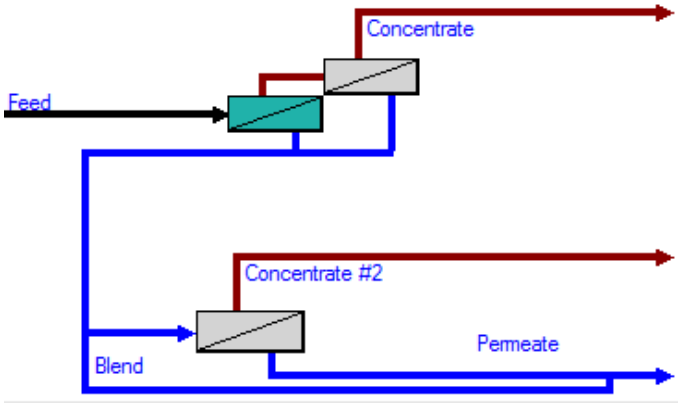


Figura 5.55: Sistema de dos pasos con "Blend Permeate"

Como se ha mostrado en la figura 5.53, en el caso de que la instalación posea dos pasos, el programa desbloquea todas las características referidas al segundo paso, que no se describieron en el apartado D1. Entre estas características se encuentran:

- Feed Flow: Caudal de la alimentación que llega al segundo paso, en m^3/h. Este parámetro es de sólo lectura, ya que su valor ha de ser igual al caudal permeado en el primer paso menos las recirculaciones que se hayan marcado.
- Recovery: Cociente entre el caudal de la permeado y el de alimentación en el segundo paso, expresado en porcentaje. Debajo de su cuadro de texto se encuentra la casilla "Specify", por lo que será uno de los parámetros principales que se pueden fijar.
- Permeate Flow: Caudal de permeado que atraviesa el segundo paso, en m^3/h. Debajo de su cuadro de texto se encuentra la casilla "Specify", por lo que también será uno de los parámetros principales que se pueden fijar.
- Flux: parámetro de sólo lectura que indica, en lmh ($l/m^2 \cdot h$) los litros de permeado que atraviesan cada hora 1 m^2 de la membrana que se encuentre seleccionada para dicho módulo.
- Final Permeate: parámetro de sólo lectura que indica en m^3/h el caudal de permeado global que sale de la instalación. Este caudal

será la suma del caudal de permeado que sale del segundo paso más los caudales de las recirculaciones que desemboquen allí.

Como se ha visto, en la parte que se refiere al segundo paso solamente se encuentran dos parámetros principales (esto es, que posean la casilla de “Specify”): “Recovery” y “Permeate Flow”.

En el primer paso, el parámetro “Permeate Flow” ha perdido su condición de parámetro principal, por lo que también quedarán solamente dos: “Feed Flow” y “Recovery”.

Así pues, en total se dispone de cuatro parámetros principales: dos para el primer paso y otros dos para el segundo. De estos cuatro, el usuario deberá marcar y rellenar tres para que el problema se encuentre correctamente especificado, en caso contrario el botón de “Recalculate” se mantendrá bloqueado. Esto es así solamente si se han dejado como variables libres las presiones (véase apartado 5.2.4.5), ya que si el usuario fija presiones, los grados de libertad se irán reduciendo, pudiendo llegar incluso al caso de que no quedase ninguno, de forma que el usuario no podría fijar ningún caudal. En cualquier caso, el programa siempre indicará el número de parámetros a especificar.

El resto de características de la ventana funcionan exactamente igual que para sistemas con un solo paso, por lo que se explicaron en el apartado D1.

E) “Recirculation Loops” (Bucles de Recirculación): En la figura 5.49 se agruparon tres características en torno a la letra E, bajo el título de “Recirculation Loops”. Como se puede observar en la mencionada figura, aparecen tres casillas:

- <u>Blend Permeate:</u> Esta opción, traducida como “Mezcla de Permeado” consiste en mezclar la corriente de permeado general

del sistema con una fracción de la alimentación (sistemas de un solo paso) o con una fracción del permeado total del primer paso (sistemas de dos pasos). Aquí es una característica de sólo lectura, que sirve como indicador, ya que la única forma de modificar esta opción es dentro de la ventana de "Flow Calculator", tal y como se explicó en los apartados D1 (sistemas de un paso) y D2 (sistemas de dos pasos).

- Pass 1 Conc to Pass 1 Feed/ Pass 2 Conc to Pass 2 Feed: Esta opción presenta dos formas distintas en función de qué paso se encuentre seleccionado en "Current Pass":

  -Si está seleccionado el paso 1, esta opción se titula "Pass 1 Conc to Pass 1 Feed" (Concentrado del primer paso a la alimentación del primer paso), y activa una recirculación que parte del concentrado resultante del primer paso y desemboca en su corriente de alimentación, tal y como se muestra en la figura 5.56.

  - Si está seleccionado el paso 2, esta opción se titula "Pass 2 Conc to Pass 2 Feed" (Concentrado del segundo paso a la alimentación del segundo paso). Esta opción es análoga a la anterior, cambiado el primer paso por el segundo.

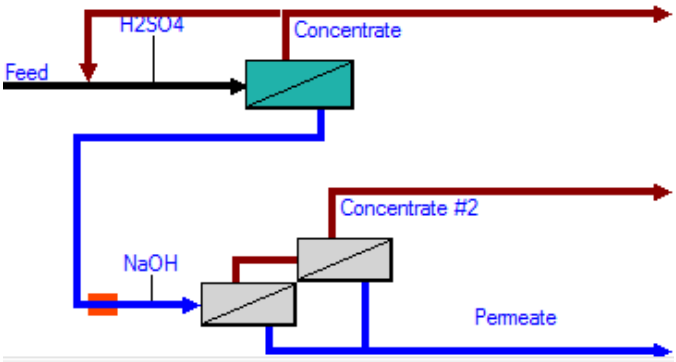


Figura 5.56: Sistema de dos pasos con recirculación del concentrado del paso 1

En caso de que en la ventana de “Flow Calculator” se haya seleccionado la opción “Permeate Split”, tal y como se indicó en el apartado D2, la casilla de “Pass 1 Conc to Pass 1 Feed/ Pass 2 Conc to Pass 2 Feed” se encontrará bloqueada.

Si, por el contrario, se encuentra desbloqueada, el usuario deberá introducir el caudal (en m^3/h) de dicha recirculación. En este caso, el caudal recirculado se suma al caudal fijado en “Feed Flow”, por lo que su valor no afectará al caudal de entrada al sistema. Si el valor introducido supera al valor calculado para el concentrado del paso seleccionado en ese momento, ROSA abrirá automáticamente la ventana de “Flow Calculator” para que el usuario cambie las características del sistema.

- Pass 2 Conc to Pass 1 Feed: Esta opción, traducida como “Concentrado del segundo paso a alimentación del primer paso” activa una recirculación que, como su propio nombre indica, lleva el concentrado que sale del segundo paso a la alimentación del primer paso, tal y como se muestra en la figura 5.57.

  Esta opción está desbloqueada solamente para sistemas con dos pasos, pero en estos sistemas está siempre activa, independientemente de lo que se haya marcado en la ventana de “Flow Calculator”.

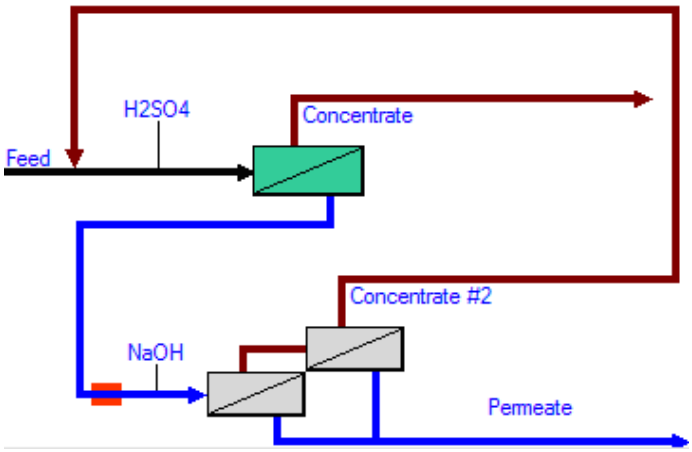


Figura 5.57: Sistema de dos pasos con recirculación del concentrado del paso 2

A pesar de lo que se muestra en la figura 5.57, con esta opción no tiene por qué recircularse la totalidad del concentrado que sale del segundo paso, sino que puede llevarse solamente una fracción.

Una vez se encuentre marcada la casilla, el usuario podrá introducir el caudal (en m^3/h) que desea que se recircule. Hay que tener en cuenta que esta cantidad hará que el caudal de entrada al sistema se reduzca (para mantener el parámetro “Feed Flow” en el valor especificado en la ventana de “Flow Calculator”).

El valor que el usuario puede introducir está limitado por el valor que presenta el caudal de concentrado que sale del segundo paso. En caso de que se pretenda que la totalidad de este caudal sea recirculado, el usuario deberá pulsar el botón “Max” para que el programa introduzca dicho valor en el cuadro de texto.

4) Ajuste del pH en la entrada del segundo paso

El rectángulo naranja marcado con un número 4 en la figura 5.46 corresponde al conjunto de opciones que permiten regular el pH en la entrada al segundo paso.

Puesto que se refiere a la alimentación del segundo paso, en los casos en los que se trabaje con un único paso, todo el conjunto de opciones se encontrará bloqueado.

En el caso en el que se trabaje con dos pasos, y en la casilla "Current Pass" se encuentre seleccionado el paso 2, el conjunto de opciones mencionado se desbloqueará, presentando el aspecto que se muestra en la figura 5.58:

Figura 5.58: Opciones de ajuste del pH en la entrada al segundo paso

Como se puede observar en la figura 5.58, el ajuste de pH de la alimentación del segundo paso puede hacerse de dos maneras:

- <u>Ajuste mediante reactivo químico:</u> consiste en añadir un ácido o una base a la corriente para modificar su pH. En este caso, el usuario deberá seleccionar en "Dosing Chemical" cualquiera de los tres reactivos que se encuentran presentes: H_2SO_4, HCl o NaOH. Tras seleccionar el compuesto químico, deberá introducir en el cuadro de texto denominado "Adjusted pH" el valor de pH al que desea llevar a la corriente ajustada.

  En el diagrama de "System Configuration" aparecerá reflejada la corriente de entrada, que indicará el compuesto químico con el que se realiza el ajuste.

- <u>Eliminación de CO_2:</u> consiste en eliminar el CO_2 presente en la corriente mediante un desgasificador. Al eliminar el CO_2, el pH de

la corriente aumentará, ya que dicho gas presenta propiedades ácidas. Para seleccionar esta opción, el usuario debe marcar cualquiera de las dos casillas que se describen a continuación:

-"% Carbon Removal": Al seleccionar esta casilla, aparecerá a su derecha un cuadro de texto, en el cual el usuario deberá introducir el porcentaje de materia carbonosa que desea eliminar de la corriente de alimentación al segundo paso.

Con este valor se estará indicando el porcentaje de eliminación molar de CO_2, HCO_3^- y CO_3^{2-} conjuntamente.

-"CO2 Pressure (atm)": Al seleccionar esta casilla, aparecerá a su derecha un cuadro de texto, en el cual el usuario deberá introducir la presión en atmósferas que desea que presente el CO_2 en la corriente de alimentación del segundo paso (téngase en cuenta que la presión parcial del CO_2 en el aire es de alrededor de 0,00037 atm).

Esta presión parcial no podrá ser superior a la que presente la corriente de alimentación bruta, por lo que mediante esta herramienta únicamente se podrá desgasificar CO_2.

En el diagrama de "System Configuration" aparecerá reflejada la eliminación de CO_2 mediante un rectángulo rojo en la corriente de alimentación del segundo paso.

El usuario tiene la libertad de realizar ambos métodos de ajuste de pH a la vez: ajuste químico y eliminación de CO_2, y en el diagrama de "System Configuration" aparecerán ambos.

5) "Configuration for Stage b in Pass a" (Configuración para la Etapa b en el Paso a)

El rectángulo violeta marcado con un número 5 en la figura 5.46 corresponde a la parte en la cual el usuario decide las características más importantes que presenta la etapa "b" dentro del paso "a", siendo "a" el paso actual (1 ó 2) y "b" la etapa seleccionada dentro del paso actual. Esta parte ha sido ampliada y clasificada mediante letras en la figura 5.59, de forma que se facilite su explicación.

El nombre de esta parte de la pestaña principal "4) System Configuration" indicará en todo momento en qué etapa y en qué paso se encuentra. En el ejemplo mostrado en la figura 5.59 se observa que el título ("Configuration for Stage 1 in Pass 2") indica que en la parte de "Selección de Pasos" (ver apartado 5.2.4.2) se encuentra marcado el paso 2, y dentro del paso 2, se ha seleccionado la etapa 1 (tal y como se mostrará en este apartado).

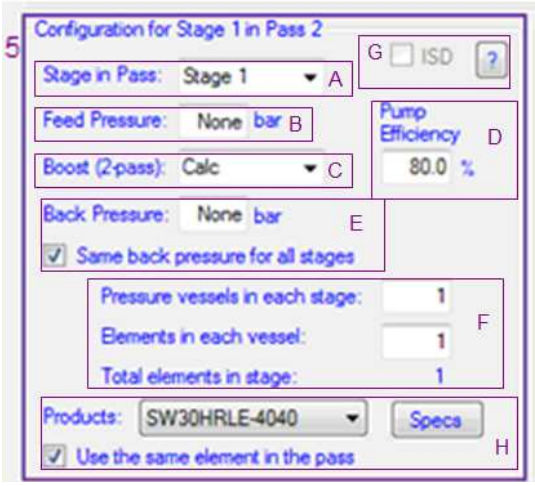


Figura 5.59: "Configuration for Stage 1 in Pass 2"

A continuación se explicarán las distintas partes en las que se ha dividido según la figura 5.59:

A) "Stage in Pass" (Etapa en el Paso): La ventana desplegable etiquetada con la letra "A" en la figura 5.59 corresponde a la selección

de la etapa de la que se introducirán las características en esta parte de la pestaña “System Configuration”.

Al clicar sobre ella se desplegarán las etapas disponibles para el paso seleccionado en la casilla “Current Pass”. En el caso mostrado en la figura 5.59, dentro del paso 2 se ha seleccionado la etapa 1, tal y como muestra el título situado en la parte de arriba de la figura 5.59.

B) “Feed Pressure / Boost” (Presión de la Alimentación / Impulso): El cuadro de texto etiquetado con la letra “B” en la figura 5.59 presenta dos títulos en función de qué etapa esté seleccionada en “Stage in Pass”:

- Si está seleccionada la primera etapa del paso, el cuadro de texto se titulará “Feed Pressure”.
- En caso de que se encuentre seleccionada cualquier otra etapa del paso, el cuadro de texto se titulará “Boost”.

Esto es consecuencia de que ROSA nombre de distinta forma a la presión de la corriente en función de su situación dentro de la instalación, tal y como se explicó en el apartado 4.2.1.3 de este manual.

En ambos casos, la opción que se está describiendo aquí presentará las mismas características: el usuario deberá introducir la presión (en bares) a la que se encontrará la corriente que entre a la etapa referida en “Stage in Pass” dentro del paso marcado en “Current Pass”. Si se encuentra seleccionada la primera etapa del segundo paso, esta opción solamente se encontrará desbloqueada en el caso en que en la ventana desplegable de “Boost (2-pass)” se encuentre seleccionada la opción “Spec”, tal y como se describirá en el apartado C.

En el caso en el que se especifique dicha presión, hay que tener en cuenta que esto afectará a los cálculos que se llevan a cabo en la calculadora de flujo, ya que al fijar el valor de la presión de la corriente de entrada, el usuario está reduciendo los grados de libertad

disponibles, por lo que en la calculadora de flujo el usuario ya no podrá seleccionar el caudal de permeado ni el porcentaje de recuperación.

Al introducir un valor de presión para una corriente, esto se ve reflejado en el esquema de "System Configuration". En dicho esquema, este hecho se muestra mediante círculos verdes en la línea de flujo. En la figura 5.60 se muestra un ejemplo, en el que se modifica la presión de alimentación de las etapas 1 y 2 del segundo paso:

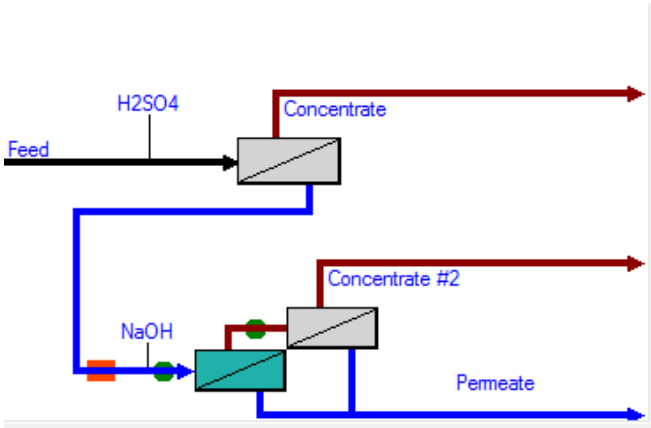


Figura 5.60: Ejemplo de sistema en el que se modifica la presión de alimentación

Si por el contrario, el usuario no introduce el valor de la presión de entrada a la etapa, dispondrá de más grados de libertad para fijar en la calculadora de flujo.

C) "Boost (2-pass)" (Impulso para el segundo paso): En la ventana desplegable etiquetada con la letra "C" en la figura 5.59, el usuario puede especificar cómo se definirá la presión a la entrada de la primera etapa del segundo paso. Así pues, si en "Current Pass" se encuentra marcado el primer paso, esta opción permanecerá bloqueada. También permanecerá bloqueada si, dentro del segundo paso, se encuentra seleccionada cualquier etapa que no sea la primera, ya que, como su nombre indica, esta herramienta se refiere al impulso de presión que se le da al permeado del primer paso justo antes de su entrada en el segundo.

Por el contrario, si se encuentra seleccionada la primera etapa del segundo paso, la ventana desplegable se desbloqueará, mostrando estas tres opciones:

- None: al seleccionar esta opción, el usuario indica que no se lleva a cabo un aumento de la presión en la entrada al segundo paso. Si se marca esta opción, el cuadro de texto denominado "Feed Pressure/Boost" (descrito en el apartado B) referido a la primera etapa del segundo paso se bloqueará, ya que al no realizarse ningún cambio de presión, deja de tener sentido.

- Spec: si selecciona esta opción, el programa permitirá al usuario indicar la presión a la que se llevará la corriente de entrada al segundo paso. Esta presión se deberá introducir en el cuadro de texto titulado "Feed Pressure/Boost", descrito en el apartado B.

- Calc: al seleccionar esta opción, el usuario decide especificar (en "Flow Calculator", véase apartado 5.2.4.3.D) un flujo de permeado, y ROSA calculará automáticamente la presión de impulso requerida a la entrada del segundo paso para producir dicho permeado. Al seleccionar esta opción, ROSA bloqueará el cuadro de texto llamado "Feed Pressure/Boost", descrito en el apartado B.

D) "Pump Efficiency" (Eficiencia de la Bomba): El cuadro de texto etiquetado con una letra "D" en la figura 5.59 corresponde al lugar donde el usuario debe introducir las eficiencias o rendimientos de las bombas utilizadas en cada paso.

Este cuadro de texto solamente se encontrará desbloqueado si se encuentra seleccionada la primera etapa del paso. En él, el usuario introducirá el rendimiento de todas las bombas situadas en el paso en cuestión.

ROSA introduce por defecto un rendimiento de las bombas de un 80%, pero el usuario puede cambiarlos de acuerdo a las bombas de las que disponga su instalación. Estos rendimientos se introducen para obtener de una forma más realista los consumos energéticos de la instalación, tal y como se muestra en la siguiente fórmula:

$$Pot = \frac{\Delta P \cdot Q}{\eta_{Bomba}}$$

La potencia consumida en una bomba se calcula multiplicando el caudal que pasa a su través por el incremento de presión que sufre el fluido, y dividido entre el rendimiento de la bomba (expresado en tanto por 1).

E) "Back Pressure" (Contrapresión): En el cuadro de texto y la casilla etiquetados con una letra "E" en la figura 5.59, el usuario puede especificar la contrapresión ("back pressure") de la etapa seleccionada. Como se indicó en el apartado 4.2.1.2, por contrapresión se entiende a la presión de la línea de permeado que abandona la etapa, que puede o no ser la presión del permeado del paso entero.

Si la casilla titulada "Same back pressure for all stages" (Misma contrapresión para todas las etapas) se encuentra marcada, entonces la contrapresión especificada para dicha etapa se extenderá a los permeados de todas las etapas que formen el paso. Esta casilla se encuentra marcada por defecto, ya que lo habitual es que los permeados de todas las etapas dentro de cada paso se unan para formar una línea de permeado general, por lo que todas las líneas de permeado de todas las etapas que formen el paso presentarán la misma contrapresión.

En la figura 5.61 se muestra un ejemplo en el que se ha fijado una contrapresión para el primer paso. Se observa que en el esquema de "System Configuration" aparecen unos rectángulos azules. Si el usuario

mantiene el cursor del ratón sobre ellos, se mostrará la contrapresión indicada.

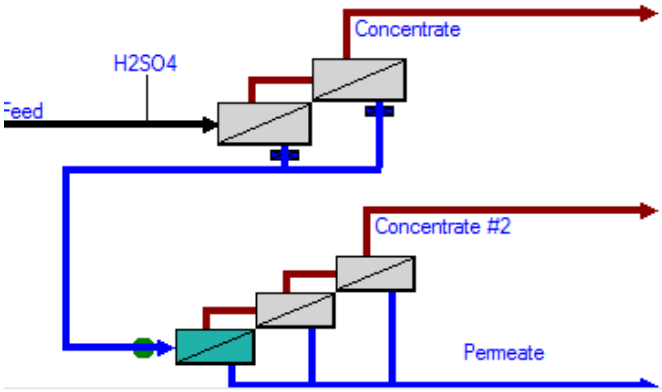


Figura 5.61: Ejemplo de sistema en el que se modifica la contrapresión del 1er paso

Hay que tener en cuenta que, si se fija la contrapresión del primer paso, dicha presión será la presión de alimentación del segundo paso, a no ser que el usuario indique una presión distinta de alimentación, tal y como se indicó en el apartado C. Ese caso es el que se muestra en el ejemplo de la figura 5.61, ya que justo antes de la entrada al segundo paso, se observa un círculo verde que indica una variación de presión en dicho punto.

La otra opción es desactivar la casilla de “Same back pressure for all stages”. En este caso, se entiende que el permeado de cada etapa es independiente del resto, por lo que presentan una contrapresión propia, que habrá que especificar una por una en el cuadro de texto de “Back Pressure”.

F) Número de elementos de la etapa: En el rectángulo marcado con una letra “F” en la figura 5.59, el usuario indica el número de recipientes de presión y de elementos de los que consta la etapa seleccionada. En la figura 5.62 se muestra el esquema de un recipiente de presión:

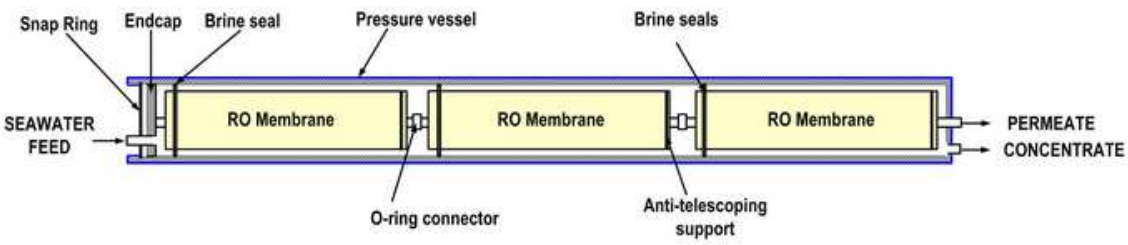


Figura 5.62: Esquema de un recipiente de presión con 3 elementos

Como se observa en la figura 5.62, el recipiente de presión ("pressure vessel") de una etapa esta constituido por un cilindro dentro del cual se introducen varios elementos o membranas de ósmosis inversa ("RO Membrane).

Así como los elementos se agrupan dentro de un recipiente de presión, los recipientes de presión se agrupan formando las etapas. Una etapa puede estar formada por gran cantidad de recipientes de presión, y cada recipiente de presión puede contener hasta 8 elementos en su interior.

El número de recipientes de presión y de elementos se selecciona individualmente para cada etapa, introduciendo el valor deseado en el cuadro de texto correspondiente:

- "Pressure vessels in each stage": en él se debe introducir el número de recipientes de presión que hay presentes en la etapa que se encuentre seleccionada en ese momento.

- "Elements in each vessel": en él se debe introducir el número de elementos (o membranas) que hay dentro de cada recipiente de presión. Como ya se ha indicado, el número máximo es 8, y ha de ser igual para todos los recipientes de presión dentro de la misma etapa.

El número de recipientes de presión instalados en una etapa multiplicado por el número de elementos situados dentro de cada recipiente de presión dan el número total de elementos presentes en

dicha etapa. Este número se indica a la derecha de “Total elements in stage” (Número total de elementos en la etapa).

G) ISD (Internally Staged Design Information): La parte dedicada al ISD se encuentra marcada con una letra “G” en la figura 5.59. Esta parte consta de una casilla titulada “ISD” y de un botón con un signo de interrogación.

El ISD, traducido como “Información del Diseño Interno de Etapas”, consiste en una herramienta que permite el uso de dos o más tipos de elementos distintos dentro de un mismo recipiente de presión. Esto permite reducir el ensuciamiento de las membranas, lo que conlleva un menor gasto de energía (o una mayor producción si se mantiene constante) y un aumento de la vida útil de la membrana.

El botón de interrogación antes mencionado sirve para que el usuario conozca en qué condiciones se desbloquea la herramienta ISD. Al clicar sobre él aparece una ventana que presenta el aspecto mostrado en la figura 5.63:

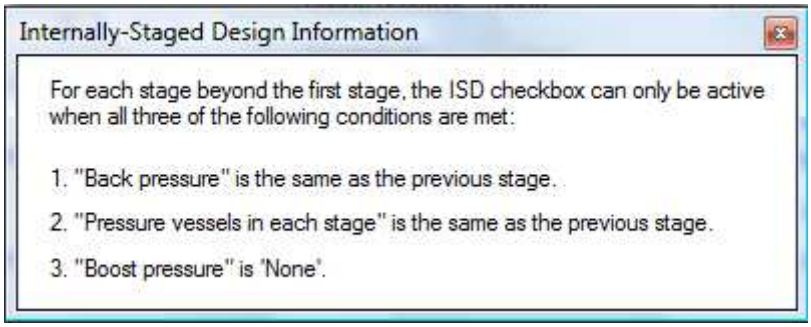


Figura 5.63: Requisitos para activar la herramienta ISD

En dicha ventana se informa al usuario que para que la funcionalidad ISD se encuentre disponible, para toda etapa posterior a la primera etapa del paso, las siguientes condiciones deben cumplirse:

1. La presión trasera (“Back Pressure”) debe ser la misma que la de la etapa previa.

2. El número de recipientes de presión (“Pressure vessels in each stage”) debe ser el mismo que en la etapa anterior.
3. No hay ninguna presión de impulso entre etapas (“Boost Pressure” es “None”).

Si el usuario tiene seleccionada la primera etapa del paso, la herramienta ISD se mantendrá siempre bloqueada.

Sin embargo, si se tiene seleccionada cualquier otra etapa, y además se cumplen conjuntamente las tres condiciones antes mencionadas, la casilla de ISD se desbloqueará. Si el usuario la marca, en dicha etapa estará funcionando la herramienta ISD.

El principio de funcionamiento de la herramienta ISD es el de permitir la instalación de diferentes elementos dentro de un mismo recipiente de presión, tal y como se muestra en el ejemplo de la figura 5.64.

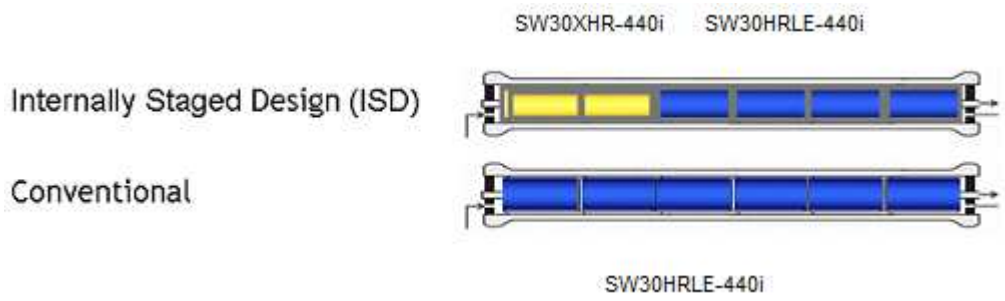


Figura 5.64: ISD frente a funcionamiento convencional

Para sacar provecho del ISD, se aconseja colocar los elementos con una menor producción de permeado (menor “Recovery”) y un mayor porcentaje de rechazo de sales (mayor “Rejection”) en las posiciones frontales del recipiente de presión (en el ejemplo de la figura 5.64, estos elementos son los SW30XHR-440i), mientras que los elementos que permiten un mayor paso de permeado (mayor “Recovery”) a costa de un menor porcentaje de rechazo de sales (menor “Rejection”) se coloquen en la parte trasera del recipiente (en este caso, los SW30HRLE-440i).

Al trabajar con la herramienta ISD en una etapa, dicha etapa cambiará su aspecto en el esquema de “System Configuration”, convirtiéndose su contorno en punteado, como se puede observar en la segunda etapa del primer paso de la instalación mostrada en la figura 5.65:

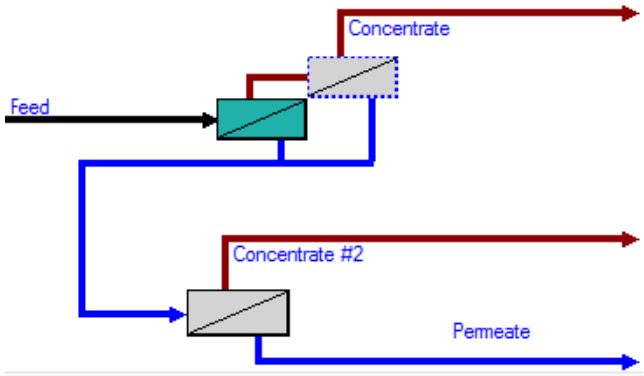
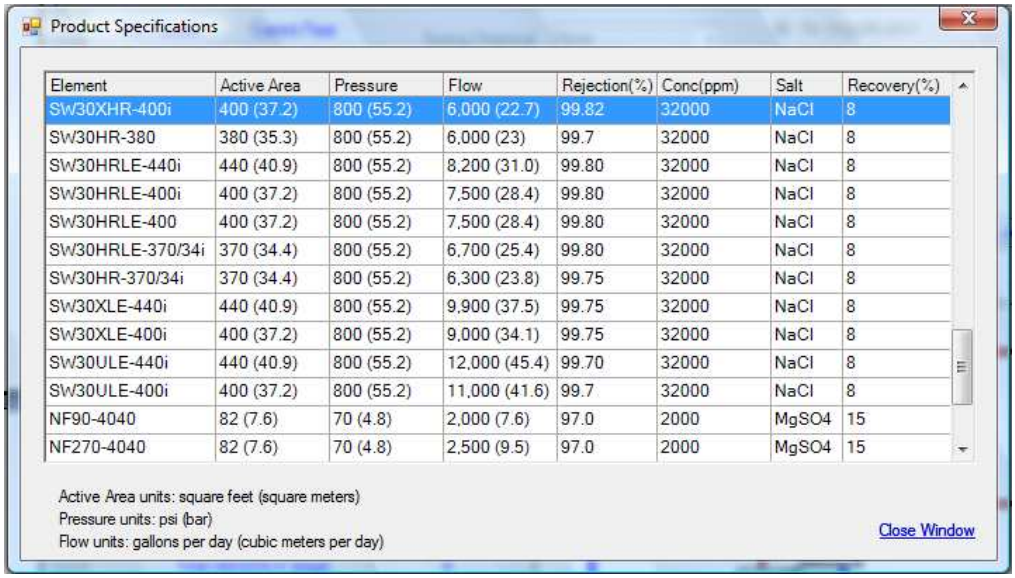


Figura 5.65: Ejemplo de apariencia de una etapa con ISD activo

H) Selección de productos: La parte recuadrada y etiquetada con una letra “H” en la figura 5.59 corresponde a la selección de productos o elementos de FilmTec.

Esta parte de selección de elementos presenta tres zonas: una ventana desplegable en la que se muestra la lista de productos de FilmTec, un botón titulado “Specs” y una casilla titulada “Use the same element in the pass”.

Al pulsar el botón titulado “Specs”, el programa abre una ventana, que presenta el aspecto que se muestra en la figura 5.66:



Product Specifications

Element	Active Area	Pressure	Flow	Rejection(%)	Conc(ppm)	Salt	Recovery(%)
SW30XHR-400i	400 (37.2)	800 (55.2)	6,000 (22.7)	99.82	32000	NaCl	8
SW30HR-380	380 (35.3)	800 (55.2)	6,000 (23)	99.7	32000	NaCl	8
SW30HRLE-440i	440 (40.9)	800 (55.2)	8,200 (31.0)	99.80	32000	NaCl	8
SW30HRLE-400i	400 (37.2)	800 (55.2)	7,500 (28.4)	99.80	32000	NaCl	8
SW30HRLE-400	400 (37.2)	800 (55.2)	7,500 (28.4)	99.80	32000	NaCl	8
SW30HRLE-370/34i	370 (34.4)	800 (55.2)	6,700 (25.4)	99.80	32000	NaCl	8
SW30HR-370/34i	370 (34.4)	800 (55.2)	6,300 (23.8)	99.75	32000	NaCl	8
SW30XLE-440i	440 (40.9)	800 (55.2)	9,900 (37.5)	99.75	32000	NaCl	8
SW30XLE-400i	400 (37.2)	800 (55.2)	9,000 (34.1)	99.75	32000	NaCl	8
SW30ULE-440i	440 (40.9)	800 (55.2)	12,000 (45.4)	99.70	32000	NaCl	8
SW30ULE-400i	400 (37.2)	800 (55.2)	11,000 (41.6)	99.7	32000	NaCl	8
NF90-4040	82 (7.6)	70 (4.8)	2,000 (7.6)	97.0	2000	MgSO4	15
NF270-4040	82 (7.6)	70 (4.8)	2,500 (9.5)	97.0	2000	MgSO4	15

Active Area units: square feet (square meters)
Pressure units: psi (bar)
Flow units: gallons per day (cubic meters per day)

Close Window

Figura 5.66: Ventana de "Products Specifications"

Como se puede observar en la figura 5.66, en la ventana de "Products Specifications" se muestran las características más importantes de cada elemento de FilmTec disponible:

- Nombre comercial del elemento.
- "Active Area": Área activa del elemento (véase apartado 4.2.3.2). Esta área se expresa en pies cuadrados y en m^2 entre paréntesis.
- Pressure: Presión nominal del elemento, expresada en psi, y en bar entre paréntesis. Esta presión es la presión estándar de trabajo, no la presión máxima.
- Flow: Flujo nominal del elemento, expresado en gpd, y en m^3/dia entre paréntesis. Este flujo corresponde al caudal estándar, no al caudal máximo.
- Rejection(%): Porcentaje de rechazo de sales, expresado en porcentaje. Para más información acerca de este parámetro, véase el apartado 4.2.3.3 de este manual.
- Conc(ppm): Concentración de la alimentación con la que se realizó el ensayo en el cual se calculó el porcentaje de rechazo de sales. Esta concentración se refiere a la sal de la siguiente columna, y se muestra en ppm.

- Salt: Compuesto con la que se realizó la prueba para medir el porcentaje de rechazo de sales
- Recovery(%): Porcentaje de alimentación que permea a través de la membrana. Para más información acerca de este parámetro, véase el apartado 4.2.3.4.

Las condiciones estándar referidas en los apartados de “Pressure” y “Flow” dependen del tipo de membrana que se esté describiendo, y deben ser siempre indicadas junto al resto de parámetros. Estas condiciones estándar se refieren a: concentración de una sal (normalmente NaCl) en la alimentación, presión, temperatura y pH de la alimentación y porcentaje de recuperación.

Por ejemplo, las condiciones estándar que se muestran en la descripción del elemento BW30-400 son las que siguen: alimentación de 2000 ppm de NaCl, a 225 psi de presión, 77 ºF, pH 8 y “Recovery” del 15%.

Así pues, mediante el botón “Specs” el usuario puede observar las especificaciones de los elementos de FilmTec disponibles para el módulo seleccionado. ROSA selecciona automáticamente los elementos válidos para el tipo de agua que se vaya a utilizar como alimentación, mientras que el resto de elementos no aparecen en la lista. Los nombres de los elementos de FilmTec indican sus características principales, tal y como se explica en el Anexo I.

Si el usuario indicó al programa que la instalación es de pequeña envergadura (véase apartado 5.2.1.4) ROSA únicamente incluirá los elementos con un diámetro menor de 8.0" (por lo que todos los elementos de 8.0" x 40" no aparecerán en la lista).

A la izquierda de dicho botón se encuentra una ventana desplegable titulada “Products”. Al clicar sobre ella, se desplegará un menú que mostrará todos los elementos que se encontraban disponibles al pulsar

el botón “Specs”. Esta ventana desplegable tiene el aspecto que se muestra en la figura 5.67:

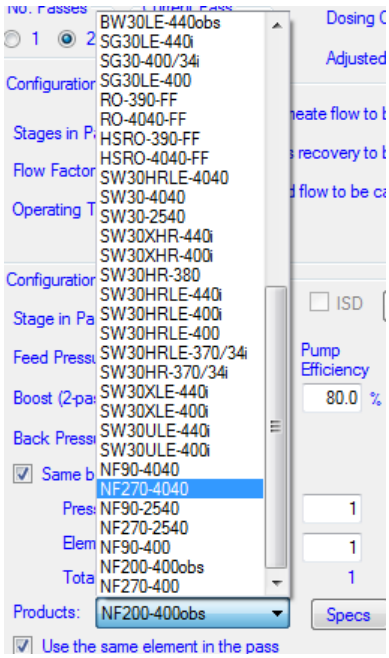


Figura 5.67: Ventana desplegable de “Products”

En la ventana de “Products”, el usuario deberá elegir el elemento que desea instalar en cada etapa. Consultar en el Anexo II los diferentes elementos de FilmTec clasificados en función de sus aplicaciones y tamaños.

Debajo de la ventana desplegable de “Products” se encuentra la casilla titulada “Use the same element in the pass”. Cuando está marcada, todas las etapas de un paso poseerán el mismo tipo de elemento dentro de sus recipientes de presión. En cambio, si no está seleccionada, el programa permitirá al usuario seleccionar distintos elementos para cada etapa.

5.2.5 Report (Informe)

Una vez completada la pestaña “4) System Configuration”, el usuario deberá continuar con el proyecto pulsando la quinta pestaña: “Report”.

La ventana de “Report” es totalmente distinta a las cuatro ventanas principales anteriores, ya que es de solo lectura: en ella el usuario no podrá introducir ningún dato ni información.

En “Report”, ROSA muestra el informe completo de la instalación resultante, tras realizar todos los cálculos necesarios para ello. Otra diferencia con respecto al resto del programa es que dicho informe se muestra en castellano (siempre y cuando se haya seleccionado “Spanish” en “Report Language”, tal y como se indicó en el apartado 5.1.2.4 de este manual, y el programa esté funcionando en modo continuo).

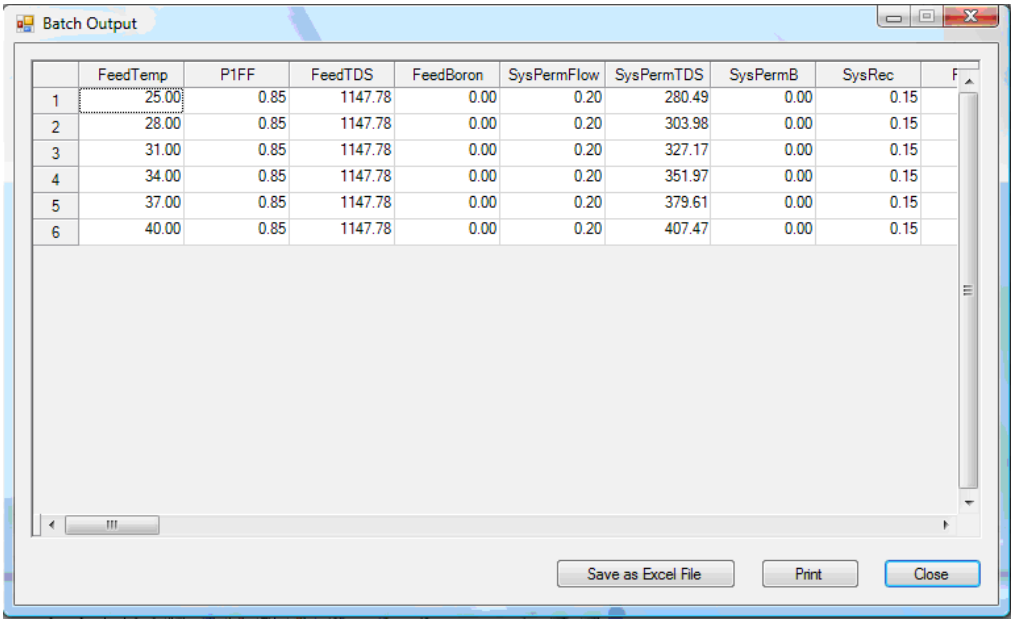
Cada vez que el usuario pulsa en la pestaña “5) Report”, ROSA vuelve a comenzar los cálculos, tanto si se han realizado cambios en el resto del programa como si no: es una pestaña en la que nunca se guarda nada, sino que el programa entiende que si se clica sobre ella es para calcular una nueva instalación.

Además de todas las diferencias ya mencionadas, la ventana de “Report” presenta otra particularidad: su apariencia cambia totalmente en función de si el programa está funcionando en modo continuo o en modo discontinuo. Para recordar cómo se activa y desactiva el modo discontinuo (“batch mode”, o “procesador por lotes”), véase el apartado 5.1.2.1 de este manual.

Debido a las grandes diferencias que hay entre el informe referido a una instalación continua y a un experimento discontinuo, estos se explicarán por separado.

5.2.5.1 Informe de prueba discontinua ("Batch Output")

Si el programa está funcionando en modo discontinuo (es decir, si la casilla "Batch Mode On" se encuentra marcada, tal y como se explica en el apartado 5.1.2.1) entonces, al pulsar sobre la pestaña de "5) Report" el programa realizará sus cálculos, tras lo cual aparecerá la siguiente ventana:



	FeedTemp	P1FF	FeedTDS	FeedBoron	SysPermFlow	SysPermTDS	SysPermB	SysRec
1	25.00	0.85	1147.78	0.00	0.20	280.49	0.00	0.15
2	28.00	0.85	1147.78	0.00	0.20	303.98	0.00	0.15
3	31.00	0.85	1147.78	0.00	0.20	327.17	0.00	0.15
4	34.00	0.85	1147.78	0.00	0.20	351.97	0.00	0.15
5	37.00	0.85	1147.78	0.00	0.20	379.61	0.00	0.15
6	40.00	0.85	1147.78	0.00	0.20	407.47	0.00	0.15

Figura 5.68: Ventana "Batch Output"

Como puede observarse en la figura 5.68, la ventana de "Batch Output" indica el valor de gran cantidad de parámetros de la instalación que ha sido caracterizada en las ventanas anteriores, en función de dos variables fijadas: la temperatura de la alimentación ("FeedTemp") y el factor de flujo ("P1FF" para el primer paso y "P2FF" para el segundo, en caso de que exista).

Así pues, tal y como se explicó en el apartado 5.1.2.1, el modo discontinuo evalúa los valores de un gran número de variables dependientes en función de dos variables independientes, fijadas por el usuario: la temperatura y el factor de flujo.

- **Variables independientes**

  Como ya se ha indicado, las variables independientes (o de entrada) son dos:

  -La temperatura de alimentación: que va a ser la temperatura de trabajo en todo el sistema, ya que no va a sufrir variaciones dentro de la instalación.

  -El factor de flujo: que puede estar referido a un paso o a los dos, dependiendo del número de pasos que presente la instalación.

  Los valores que toman las variables de entrada se seleccionan en la ventana "Input Parameters" (véase figura 5.7, situada en el apartado 5.1.2.1). A la hora de seleccionar estos valores, se recuerda que el usuario solamente tiene que introducir los valores máximo y mínimo de las dos variables de entrada, así como el número de puntos intermedios que desea que el programa calcule.

  En el ejemplo mostrado en la figura 5.68, las variables de entrada ocupan las dos primeras columnas: la primera ("FeedTemp") se refiere a la temperatura de trabajo del sistema, que vendrá dada por la temperatura a la que entre la alimentación, mientras que las segunda ("P1FF") se refiere al factor de flujo que presenta el primer paso. En el caso de que la instalación presentase un segundo paso, aparecería también una columna llamada ("P2FF") que indicaría los valores del factor de flujo en el segundo paso.

- **Variables dependientes**

  Las variables dependientes o de salida son todas aquellas que ROSA calcula en función del valor que tomen las variables independientes. Estas variables de salida se seleccionan en la ventana "Output Parameters" (véase figura 5.8, situada en el apartado 5.1.2.1). Como se puede observar en dicha figura, hay gran cantidad de variables de salida, por lo que el usuario tiene la posibilidad de marcar aquellas que más le interesen.

Todas aquellas variables de salida que haya marcado en la ventana de "Output Parameters" aparecerán en la tabla de "Batch Output" que se muestra en la figura 5.68, aunque sus nombres se verán abreviados para ahorrar espacio en la tabla. Para consultar el significado de dichas abreviaturas se recomienda ir a las tablas 5.1 y 5.2, situadas en el apartado 5.1.2.1 de este manual.

En el ejemplo mostrado en la figura 5.68, el usuario decidió en "Input Parameters" evaluar su sistema para temperaturas de alimentación de 25 a 40 ºC (primera columna), con el factor de flujo del primer y único paso de su instalación constante en 0.85 (segunda columna). Además, especificó que el programa calculase 4 puntos intermedios, por lo que el programa realizó 6 pruebas: los 4 puntos intermedios mas los 2 extremos. Las 6 filas de la tabla corresponden a cada una de esas pruebas o experimentos, cada una de las cuales corresponde a un valor de "FeedTemp".

En "Output Parameters", dejó marcadas todas las variables de salida, de forma que todas ellas aparecen como columnas en la tabla de "Batch Output" (nótese la barra de desplazamiento horizontal, que indica que la tabla posee más extensión de la que se muestra en la figura 5.68).

De tal forma, mediante la tabla de "Batch Output" el usuario puede saber que, a una temperatura de 34 ºC y un factor de flujo de 0,85, los sólidos disueltos totales (TDS) de la corriente de general de permeado de su sistema valen 351,97 ppm (corte de la fila 4 con la columna "SysPermTDS"), mientras que si se aumenta dicha tempera a 40 ºC manteniendo el FF en 0,85, los TDS del permado general subirán a 407,47 ppm.

Además de la tabla de simulaciones, la ventana de "Batch Output" presenta tres botones, tal y como se muestra en la figura 5.68:

-"Close": Como su propio nombre indica (Cerrar), al pulsar este botón la ventana de "Batch Output" se cerrará.

-"Print": Al pulsar este botón, el programa ordenará imprimir la tabla de simulaciones a la impresora que se encuentre activa en ese momento.

-"Save as Excel File": Mediante este botón, el usuario puede guardar la tabla de simulaciones como un archivo Excel. Esta opción es muy interesante, ya que al exportar dichos datos a una hoja Excel, el usuario puede realizar gráficas acerca del comportamiento de su sistema en relación con variaciones en los parámetros de entrada (temperatura y factor de flujo).

Al pulsar el botón "Save as Excel File", aparecerá la ventana que se muestra en la figura 5.69:

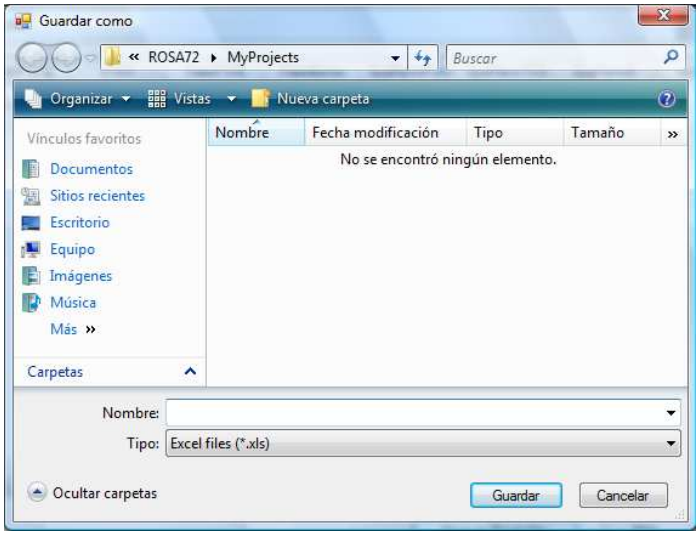


Figura 5.69: Ventana para exportar tabla de simulaciones a Excel

En dicha ventana, el usuario solamente tiene que buscar una carpeta para guardar el archivo Excel (la ubicación por defecto será la carpeta que se haya seleccionado en "Files and Folders", tal y como se explica en el apartado 5.1.2.3). Una vez haya seleccionado la carpeta de destino que desee, tendrá que escribir el nombre del archivo, que ya se guardará con extensión .xls, es decir, con extensión de archivo Excel.

A partir de ese momento, el usuario deberá tratar a dicho archivo como a un archivo Excel.

Aquí concluye la explicación del informe ("Report") para un sistema discontinuo. La aplicación más interesante de este informe es la realización de gráficos en Excel para evaluar el comportamiento de parámetros del sistema en función de variaciones en la temperatura o en el factor de flujo, tal y como se muestra en la gráfica ejemplo de la figura 5.70.

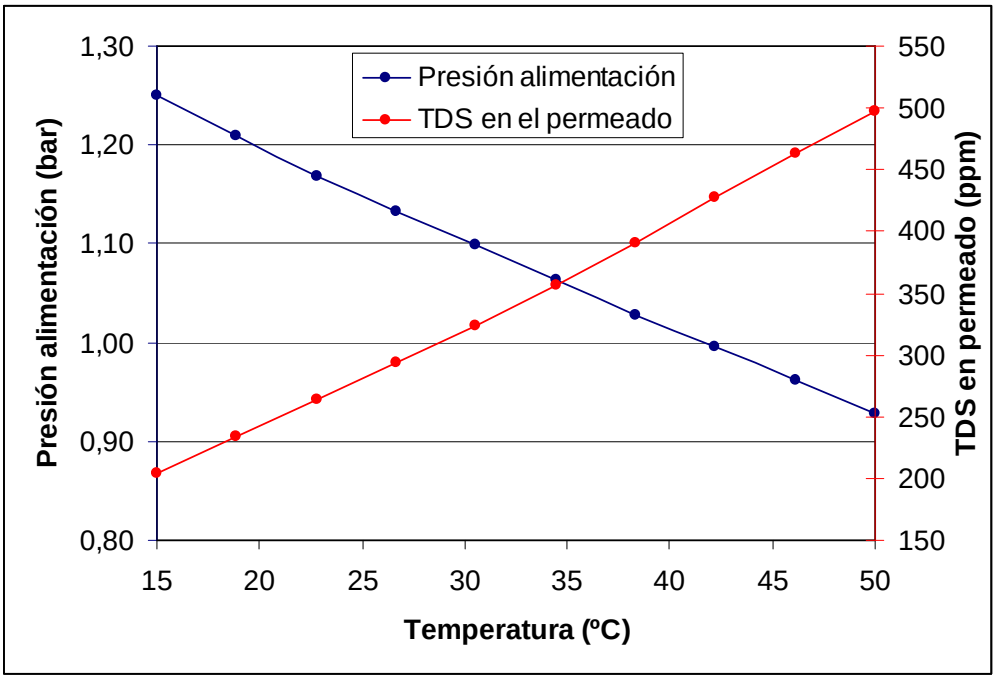


Figura 5.70: Ejemplo de utilización de la tabla de simulaciones

En la figura 5.70 se muestra, para una instalación concreta fijada en ROSA, cómo varía la presión necesaria en la alimentación, y el TDS en el permeado en función de la temperatura de trabajo (con el FF constante). Como se observa en dicha figura, al aumentar la temperatura de trabajo, la presión necesaria en la alimentación disminuye, como también lo hace la calidad del permeado, que presenta un mayor valor de TDS.

Puesto que la sexta pestaña principal ("Cost Analysis") no tiene sentido en aplicaciones discontinuas, si el usuario está ejecutando ROSA en "Batch Mode", una vez que haya concluido con la pestaña "5) Report" habrá finalizado su proyecto

5.2.5.2 Informe de un sistema funcionando en modo continuo

Si el programa está funcionando en modo continuo, la apariencia del informe que aparecerá al pulsar la pestaña “5) Report” será totalmente diferente. Cuando el usuario acceda a dicha pestaña, ROSA hará aparecer una ventana emergente, tal y como se muestra en la figura 5.71:

Detail Report

Información del Proyecto: El proyecto e1 consta de tres casos diferentes: -El primero se realizará con una presurización 0.345 bares antes de la primera etapa -El segundo se realizará con una presurización 0.75 bares antes de la primera etapa -El tercero se realizará con una presurización 1.5 bares antes de la primera etapa

Detalles del Sistema

Caudal de Alimentación a la 1ª Etapa	1.33 m³/h	Caudal de Permeado Paso 1	0.20 m³/h	Presión Osmótica:	
Caudal de Agua Bruta al Sistema	1.33 m³/h	Conversión Paso 1	15.00 %	Alimentación	0.75 bar
Presión de Alimentación	7.45 bar	Temperatura de Alimentación	25.0 C	Concentrado	0.88 bar
Factor de flujo	0.85	STD Alimentación	1173.10 mg/l	Media	0.81 bar
Dosificación Química	Ninguno	Número de Elementos	1	NDP media	6.24 bar
Área Activa Total	8.73 M²	Flujo específico medio Paso 1	22.90 lmh	Potencia	0.35 kW
Clasificación del Agua:Permeado OI SDI < 1				Energía Específica	1.73 kWh/m³

Etapa	Elemento	Nº Cajas de presión	Nº Elementos	Caudal de Alimentación (m³/h)	Presión de Alimentación (bar)	Caudal de Recirculación (m³/h)	Caudal de concentrado (m³/h)	Presión del concentrado (bar)	Caudal de Permeado (m³/h)	Flujo específico medio (lmh)	Presión de Permeado (bar)	Presión Booster (bar)	STD Permeado (mg/l)
1	LC HR-4040	1	1	1.33	7.11	0.00	1.13	6.98	0.20	22.90	0.00	0.00	11.51

Corrientes Paso (mg/l como ión)					
Nombre	Alimentación	Alimentación ajustada	Concentrado	Permeado	
			Etapa 1	Etapa 1	Permeado Total
NH4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	48.01	48.01	56.15	1.85	1.85
Na	316.39	316.39	371.85	2.08	2.08
Mg	5.70	5.70	6.71	0.01	0.01
Ca	46.40	46.40	54.57	0.09	0.09
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	0.30	0.30	0.42	0.00	0.00
HCO3	93.86	93.86	110.15	0.94	0.94
NO3	76.24	76.24	88.95	4.21	4.21
Cl	377.50	377.50	443.79	1.91	1.91
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	208.70	208.70	245.45	0.43	0.43
SiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Boro	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	3.52	3.52	3.57	3.41	3.41
STD	1173.10	1173.10	1378.04	11.51	11.51
pH	7.50	7.50	7.55	5.65	5.65

Advertencias de Diseño

-Ninguno-

Advertencias de Solubilidad

-Ninguno-

Detalles Etapa

Etapa	Elemento	Conversión	Caudal de Permeado (m³/h)	STD Permeado (mg/l)	Caudal de Alimentación (m³/h)	STD Alimentación (mg/l)	Presión de Alimentación (bar)
1		0.15	0.20	11.51	1.33	1173.10	7.11

Cálculo de Precipitaciones

	Agua Bruta	Alimentación ajustada	Concentrado
pH	7.50	7.50	7.55
Índice de Saturación Langelier	-0.47	-0.47	-0.29
Índice de estabilidad Stiff & Davis	-0.13	-0.13	0.00
Fuerza Iónica (Molal)	0.02	0.02	0.03
STD (mg/l)	1173.10	1173.10	1378.04
HCO3	93.86	93.86	110.15
CO2	3.52	3.52	3.57
CO3	0.30	0.30	0.42
CaSO4 (% Saturación)	1.98	1.98	2.58
BaSO4 (% Saturación)	0.00	0.00	0.00
SrSO4 (% Saturación)	0.00	0.00	0.00
CaF2 (% Saturación)	0.00	0.00	0.00
SiO2 (% Saturación)	0.00	0.00	0.00
Mg(OH)2 (% Saturación)	0.00	0.00	0.00

Para hacer el balance:0.00 mg/l Clañadido a la alimentación

Print Print Setup Close Overview Repor

Figura 5.71: Ejemplo de “Detail Report”

Como se puede observar en la figura 5.71, la ventana emergente corresponde a un informe detallado “Detail Report” de la instalación que ha calculado ROSA. En dicho informe se incluye toda la información necesaria para caracterizar dicha instalación.

Bajo la ventana emergente de “Detail Report”, dentro del marco del programa ROSA, el usuario descubrirá que, a diferencia del caso de ejecución de una simulación discontinua, ahora dentro de la interfaz del programa ha aparecido información, titulada como “Resumen del Diseño del Sistema”. Esta ventana es la que se muestra en la figura 5.72:

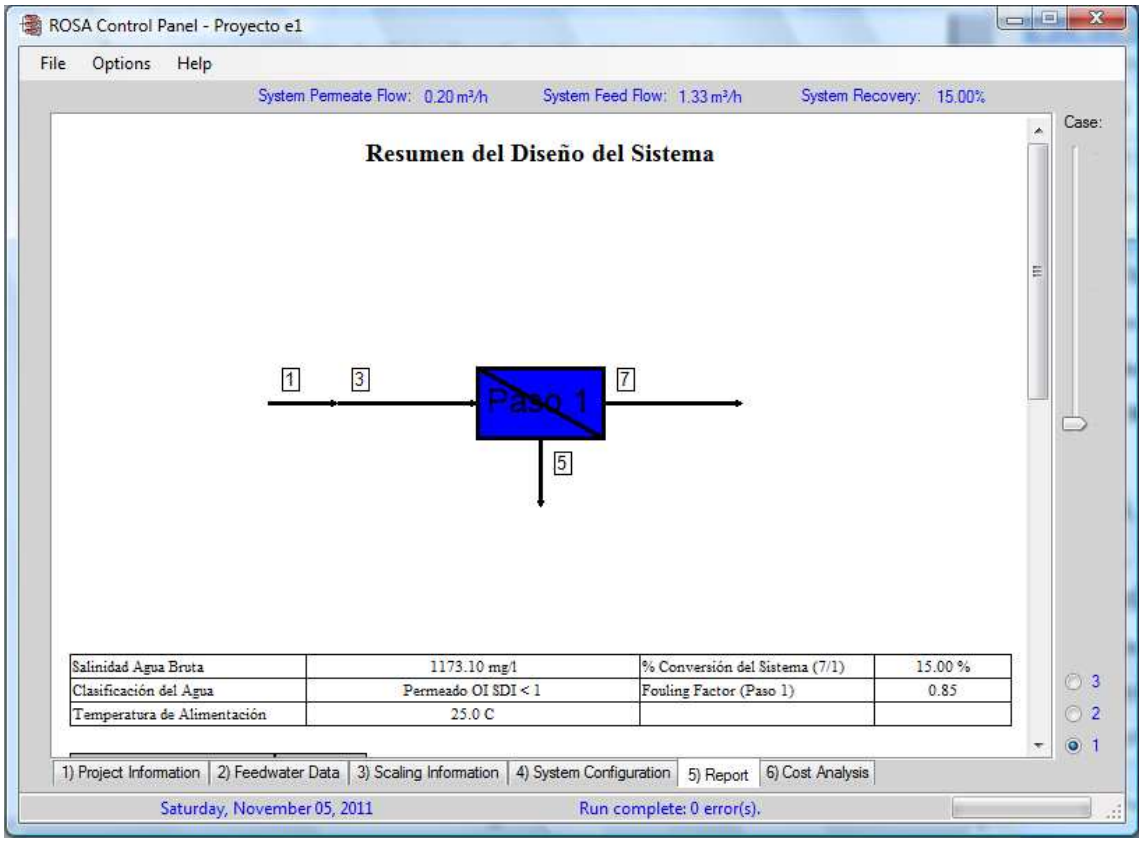


Figura 5.72: Ejemplo de “Resumen del Diseño del Sistema”

Aunque el programa los nombre en distintos idiomas, ambos informes son complementarios, y se explicarán de forma separada:

- La ventana emergente de “Detail Report” muestra, como su nombre indica, un informe completo y en detalle.
- La ventana de “Resumen del Diseño del Sistema” (en inglés “Overall Report”) muestra un informe resumido del sistema.

5.2.5.2.1 Resumen del Diseño del Sistema

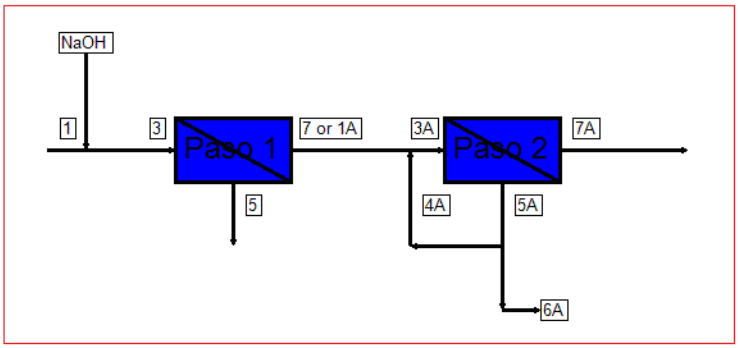
Como ya se ha indicado, si el usuario está ejecutando ROSA en modo continuo y clica sobre la pestaña principal “5) Report”, dentro de la interfaz del propio programa aparecerá la ventana “Resumen del Diseño del Sistema”, que presenta el aspecto que se muestra en la figura 5.72.

En dicha figura no se puede mostrar la totalidad de dicho resumen, ya que éste es considerablemente más largo (obsérvese la barra de desplazamiento vertical situada a la derecha de la ventana), por lo que en este apartado se ampliará el Resumen por zonas, explicándose una a una mediante un ejemplo de una instalación ficticia.

A) Esquema del sistema:

Lo primero que aparece en el “Resumen del Diseño del Sistema” es un esquema que representa la instalación, tal y como se resalta en rojo en la figura 5.73.

Resumen del Diseño del Sistema



Salinidad Agua Bruta	1119.79 mg/l	% Conversión del Sistema (7A/1)	3.75 %
Clasificación del Agua	Permeado OI SDI < 1	Fouling Factor (Paso 1)	0.85
Temperatura de Alimentación	24.5 C	Fouling Factor (Paso 2)	0.85

Figura 5.73: Esquema del sistema

En dicho esquema se representan únicamente los pasos de la instalación y las corrientes que entran o salen al sistema. Todas las etapas de las que conste un paso, así como los desgasificadores de CO_2 o las bombas desaparecerán del esquema,

Además, en este esquema se numeran todas las corrientes existentes en el sistema, para luego poder describir con mayor facilidad sus características. Nótese que las corrientes del primer paso se etiquetan mediante números, mientras que las del segundo paso son etiquetadas con un número seguido de una “A”. Así pues, la corriente de salida del paso 1 será la corriente 7, que coincidirá con la corriente 1A que entra al segundo paso.

En el esquema mostrado en la figura 5.73 se muestra una instalación con dos pasos, el primero de dos etapas y el segundo de una etapa (tal y como se mostrará más adelante). Parte del rechazo del segundo paso es recirculado a la alimentación de este mismo paso (corriente 4A), mientras que el resto sale del sistema (corriente 6A).

B) Tabla de aspectos generales del sistema:

Debajo del esquema del sistema se puede observar una tabla, en la que se muestran algunas características importantes de la instalación. Dicha tabla se muestra ampliada y resaltada en rojo en la figura 5.74:

Salinidad Agua Bruta	1119.79 mg/l	% Conversión del Sistema (7A/1)	3.75 %
Clasificación del Agua	Permeado OI SDI < 1	Fouling Factor (Paso 1)	0.85
Temperatura de Alimentación	24.5 C	Fouling Factor (Paso 2)	0.85

Paso	**Paso 1**		**Paso 2**
Etapa	**1**	**2**	**1**
Tipo de Elemento	SW30HRLE-4040	SW30HRLE-4040	SW30HRLE-4040
Cajas de presión por etapa	2	2	2
Elementos por caja de presión	4	4	4
Número Total de Elementos	8	8	8
Flujo especifico medio del paso	7.92 lmh		2.37 lmh
Flujo Medio De la Etapa	9.33 lmh	6.50 lmh	2.37 lmh
Contrapresión de permeado	0.00 bar	0.00 bar	0.00 bar

Figura 5.74: Tabla de aspectos generales del sistema

Como se puede observar en la figura 5.74, la tabla indica seis parámetros del sistema:

-Salinidad Agua Bruta: Corresponde al TDS del agua antes de que se le realice ningún ajuste previo, por lo que coincidirá con el valor de TDS

que se mostró en la pestaña principal “2) Feedwater Data” (apartado 5.2.2).

-Clasificación del Agua: Corresponde al tipo de agua seleccionado en “Water Type”, tal y como se explicó en el apartado 5.2.2.1.

-Temperatura de Alimentación: Corresponde a la temperatura media de alimentación de todas las corrientes que entren al sistema, como se indicó en la pestaña principal “2) Feedwater Data” (apartado 5.2.2).

-%Conversión del Sistema (7A/1): Este parámetro corresponde al porcentaje de recuperación o “Recovery” del sistema (descrito en el apartado 4.2.3.4). Entre paréntesis se ha indicado 7A/1 porque ese es el cálculo a través del cual se ha llegado a la conversión del sistema: el caudal del permeado saliente del segundo paso (corriente 7A en la figura 5.73) entre la alimentación que llega al primer paso (corriente 1 en la figura 5.73).

-Fouling Factor (Paso 1): Este parámetro corresponde al valor que el usuario introdujo para el factor de flujo (FF) en el paso 1, tal y como se indicó en el apartado 5.2.4.3.B de este manual.

-Fouling Factor (Paso 2): Este parámetro corresponde al valor que el usuario introdujo para el factor de flujo (FF) en el paso 2, tal y como se indicó en el apartado 5.2.4.3.B de este manual.

C) Tabla de descripción de pasos

Como se puede observar en la figura 5.74, inmediatamente debajo de la tabla de aspectos generales del sistema se encuentra otra tabla. Esta tabla es la tabla de descripción de pasos, y se muestra ampliada y resaltada con rojo en la figura 5.75.

Paso	Paso 1		Paso 2
Etapa	1	2	1
Tipo de Elemento	SW30HRLE-4040	SW30HRLE-4040	SW30HRLE-4040
Cajas de presión por etapa	2	2	2
Elementos por caja de presión	4	4	4
Número Total de Elementos	8	8	8
Flujo específico medio del paso	7.92 lmh		2.37 lmh
Flujo Medio De la Etapa	9.33 lmh	6.50 lmh	2.37 lmh
Contrapresión de permeado	0.00 bar	0.00 bar	0.00 bar
Presión Booster	0.00 bar	0.00 bar	0.00 bar
Dosificación Química	100% NaOH 0.86 mg/l		-
Consumo de Energía	1.18 kWh/m³		3.69 kWh/m³

Paso 1				Paso 2			
Corriente nº	Caudal (m³/h)	Presión (bar)	STD (mg/l)	Corriente nº	Caudal (m³/h)	Presión (bar)	STD (mg/l)
1	4.00	0.00	1119.79	1A	1.00	-	8.81
3	4.00	8.50	1121.37	3A	1.17	2.42	8.94

Figura 5.75: Tabla de descripción de pasos

Como se observa en la figura 5.75, en dicha tabla se muestra la información más relevante acerca de cada paso, y dentro de cada paso, de las etapas de las que éste consta. En total aparecen 11 parámetros, que son los que siguen:

-Tipo de Elemento: En esta fila se muestran los elementos de los que está formada cada etapa. Como se observa en la figura 5.75, todas las etapas de esta instalación cuentan con el elemento SW30HRLE-4040. Para cambiar el tipo de elemento de una etapa consular el apartado 5.2.4.5.H de este manual.

-Cajas de presión por etapa: Aquí se muestra el número de recipientes de presión (“pressure vessels”) de los que consta cada etapa. El número de recipientes de presión existentes en cada etapa puede modificarse tal y como se indica en el apartado 5.2.4.5.F de este manual.

-Elementos por caja de presión: Esta fila indica el número de elementos de los que consta cada uno de los recipientes de presión de cada etapa. Este parámetro se puede modificar tal y como se indica en el apartado 5.2.4.5.F de este manual.

-Número Total de Elementos: En esta fila se indica el número total de elementos de los que consta cada etapa. Dicho valor se calcula multiplicando el número de recipientes de presión de la etapa por el número de elementos contenidos en cada caja de presión.

-Flujo específico medio del paso: Este parámetro indica el flujo específico (ver definición en el apartado 4.2.1.5) que atraviesa los elementos de cada paso. Por ejemplo, para el primer paso se calcularía dividiendo el permeado total del primer paso (1 m^3/h, o 1000 l/h) entre el área activa total de éste (126,34 m^2). El área activa total de un paso se muestra en el "Detail Report", que se explica en el apartado 5.2.5.2.2.

-Flujo Medio De la Etapa: En esta fila se muestra el flujo específico que atraviesa los elementos de cada etapa. Se calcula de forma análoga al flujo medio del paso, pero teniendo en cuenta solamente los permeados y áreas activas de la etapa en cuestión.

Nótese que, puesto que ambas etapas tienen el mismo número total de elementos, y que además son del mismo tipo, la media entre los flujos medios de la 1ª y 2ª etapa del primer paso (9,33 y 6,50 l/m^2h) da el flujo específico medio del paso (7,92 l/m^2h).

-Contrapresión de permeado: Este parámetro indica la presión que el usuario ha fijado como "Back Pressure" o contrapresión a la salida de cada etapa, tal y como se indicó en el apartado 5.2.4.5.E de este manual. Un valor de 0,00 como el que se muestra en las etapas de la figura 5.75 no indica que dicha presión sea 0,00 bar, sino que el usuario no la especificó, dejándola libre.

-Presión Booster: Esta fila muestra la presión que el usuario ha fijado como "Boost Pressure" o presión de impulso antes de la entrada a cada etapa, tal y como se indicó en el apartado 5.2.4.5.B de este manual. Un valor de 0,00, al igual que ocurre con la contrapresión, únicamente indica que el usuario dejó la variable sin especificar.

-Dosificación química: En esta fila se indica la adición de compuestos químicos a la entrada de cada paso. Esta adición química responde a la voluntad de cambios en el pH de las corrientes de alimentación de cada paso. En el ejemplo mostrado en la figura 5.75, se indica que a la entrada del paso 1 se adiciona una corriente de 0,86 mg/l de NaOH.

La introducción de un ajuste de pH no se realiza de igual modo para el primer paso que para el segundo. Para realizar un ajuste de pH en la alimentación del primer paso, consultar el apartado 5.2.3.5, mientras que si se desea ajustar el pH de la alimentación entrante al segundo paso se debe consultar el apartado 5.2.4.4.

-Consumo de Energía: Este parámetro indica la energía necesaria (en kWh) para producir 1 m^3 de producto (permeado) en cada uno de los pasos de la instalación.

D) Tabla de descripción de corrientes

Como se puede observar en la figura 5.75, inmediatamente debajo de la tabla de descripción de pasos se encuentra otra tabla. En ella aparece la descripción de corrientes, y se muestra ampliada y resaltada con rojo en la figura 5.76.

Paso 1				Paso 2			
Corriente nº	Caudal (m^3/h)	Presión (bar)	STD (mg/l)	Corriente nº	Caudal (m^3/h)	Presión (bar)	STD (mg/l)
1	4.00	0.00	1119.79	1A	1.00	-	8.81
3	4.00	8.50	1121.37	3A	1.17	2.42	8.94
5	3.00	4.81	1492.23	4A	0.17	1.46	10.15
7	1.00	-	8.81	5A	1.02	1.46	10.15
7/1	% Conversión	25.00		6A	0.85	1.46	10.15
				7A	0.15	-	0.73
				7A/1A	% Conversión	15.00	

Información del Proyecto:
El proyecto e1 consta de tres casos diferentes: -El primero se realizará con una presuriz
etapa -El segundo se realizará con una presurización 0.75 bares antes de la primera etap
presurización 1.5 bares antes de la primera etapa

Figura 5.76: Tabla de descripción de corrientes

Como se observa en la figura 5.76, dicha tabla contiene las características más importantes de todas las corrientes de las que consta la instalación. A la hora de nombrarlas, se ha seguido la numeración del esquema mostrado en la figura 5.73. Las características o parámetros presentes en la tabla son los que siguen:

-Caudal (m^3/h): Indica el caudal circulante por cada una de las corrientes, en m^3/h.

-Presión (bar): Indica la presión en bares de cada una de las corrientes.

-STD (mg/l): Indica los Sólidos Totales Disueltos presentes en cada una de las corrientes. En este manual se ha utilizado la abreviatura inglesa TDS, que se explica con más detalle en el apartado 4.2.2.

-% Conversión: Indica el porcentaje de conversión o “Recovery” de cada uno de los pasos de los que consta la instalación. Así pues, en la figura 5.76 se muestran dos conversiones:

- La referida al paso 1 se obtiene dividiendo el caudal de la corriente 7 entre el de la corriente 1: 1/4=0,25, obteniendo así en porcentaje un 25% de conversión.

- La referida al paso 2 se obtiene dividiendo el caudal de la corriente 7A entre el de la corriente 1A: 0,15/1=0,15, obteniendo así en porcentaje un 15% de conversión.

El porcentaje de conversión total se obtendría multiplicando ambos dos: $0,25 \cdot 0,15 = 0,0375$, por lo que sería del 3,75%.

E) Información Adicional

Como se puede observar en la figura 5.76, inmediatamente debajo de la tabla de descripción de corrientes se encuentra un texto titulado “Información del

Proyecto". Este texto corresponde a la última parte del Resumen del Diseño del Sistema, y se muestra ampliado en la figura 5.77:

Información del Proyecto:
El proyecto e1 consta de tres casos diferentes: -El primero se realizará con una presurización 0.345 bares antes de la primera etapa -El segundo se realizará con una presurización 0.75 bares antes de la primera etapa -El tercero se realizará con una presurización 1.5 bares antes de la primera etapa

Advertencias de Diseño
-- Paso 1
-Ninguna-
-- Paso 2
-Ninguna-

Advertencias de Solubilidad:
-- Paso 1
-Ninguna-
-- Paso 2
-Ninguna-

Figura 5.77: Información Adicional

Como puede observarse en la figura 5.77, esta última parte del Resumen del Diseño del Sistema es breve, pero importante. Presenta tres partes diferenciadas, cada una con un título en negrita:

- **Información del Proyecto:** Aquí se muestra la información que el usuario desee indicar acerca del proyecto que ha ejecutado. Dicha información es la que se introdujo en el cuadro de texto de "Notes", en la pestaña de "1) Project Information", explicada en el apartado 5.2.1.

- **Advertencias de Diseño:** En esta parte es donde el programa muestra todas las advertencias acerca del diseño de la instalación, tanto del paso 1 como del paso 2. El usuario deberá prestar atención a estas advertencias, ya que estarán indicando defectos en el sistema proyectado. En la figura 5.78 se muestra un ejemplo en el que surgen advertencias en relación con el diseño del primer paso:

Advertencias de Diseño
-- Paso 1
ADVERTENCIA: El caudal de alimentación es mayor que el caudal máximo de alimentación recomendado. Por favor cambie el diseño de su sistema para reducir los valores de caudal de alimentación. (Producto:SW30HRLE-4040, Límite:3.63m³/h)
ADVERTENCIA: El caudal máximo por elemento ha sido excedido. Por favor cambie el diseño de su sistema para reducir los caudales de permeado de los elementos. (Producto:SW30HRLE-4040, Límite:0.28m³/h)
ADVERTENCIA: La presión máxima de alimentación ha sido excedida. Por favor cambie el diseño de su sistema para reducir la presión de alimentación. (Producto:SW30HRLE-4040, Límite:68.95bar)
-- Paso 2
-Ninguna-

Figura 5.78: Ejemplo de Advertencias de Diseño

En el ejemplo mostrado en la figura anterior, el programa advierte de tres problemas detectados en el diseño del paso 1. Estas advertencias son mostradas en castellano, e indican claramente dónde está el problema y cómo solucionarlo.

- **Advertencias de Solubilidad:** En esta parte es donde el programa muestra todas las advertencias acerca de la posible precipitación de sales poco solubles, como el carbonato cálcico, tanto en el paso 1 como en el paso 2. El usuario deberá prestar atención a estas advertencias, ya que estarán indicando defectos en el sistema proyectado. En la figura 5.79 se muestra un ejemplo en el que surgen advertencias de solubilidad en el primer paso:

Advertencias de Solubilidad:
-- Paso 1
Índice de Saturación Langelier > 0
Índice de estabilidad Stiff & Davis > 0
BaSO4(% Saturación) > 100%
Se puede requerir anti-incrustantes. Consulte con su fabricante para la dosificación y máxima conversión permitida.
-- Paso 2
-Ninguna-

Figura 5.79: Ejemplo de Advertencias de Solubilidad

En el ejemplo mostrado en la figura anterior, el programa advierte de tres problemas detectados en el primer paso:

-LSI>0, que indica que el agua presenta condiciones incrustantes, por lo que podría precipitar carbonato cálcico. Una solución a este

problema sería la acidificación de la corriente de alimentación antes de su entrada en el primer paso. Para más información acerca del LSI consultar el apartado 4.2.2, donde también se muestra cómo reducirlo.

- S&DSI>0, que indica el mismo problema que el LSI. A la hora de prestar atención a un parámetro o a otro, será necesario fijarse en el valor de TDS de la corriente en cuestión, tal y como se indica en el apartado 4.2.2 de este manual.

-% Saturación de $BaSO_4$ > 100%, lo cual indica que también va a precipitar sulfato de bario. Este parámetro se encuentra explicado en el apartado 4.2.2 de este manual, donde para este tipo de problemas se recomienda el tratamiento previo con intercambio iónico.

Con esto finaliza la explicación del “Resumen del Diseño del Sistema”. Este resumen es bastante útil, ya que en él se describen de forma reducida los parámetros, características y avisos más importantes para la instalación, presentando además la ventaja de mostrar un esquema de ésta. No obstante, el “Detail Report” muestra una mayor cantidad de parámetros y características, por lo que en ocasiones será inevitable tener que recurrir a él.

Si el usuario desea imprimir el “Resumen del Diseño del Sistema”, en el apartado 5.2.5.2.2.C.3 se muestra cómo hacerlo.

5.2.5.2.2 Detail Report (Informe Completo)

Como se indicó en el apartado 5.2.5.2, cuando el usuario se encuentra ejecutando ROSA en modo continuo y clica sobre la pestaña principal “5) Report”, además del “Resumen del Diseño del Sistema” que aparece en la propia interfaz de ROSA, emerge una ventana llamada “Detail Report”, que presenta el aspecto que se mostró en la figura 5.71.

Este “Detail Report” o “Informe Completo” presenta muchas características en común con el “Overall Report” o “Resumen del Diseño del Sistema” descrito en el apartado 5.2.5.2.1, pero, como su nombre indica, consiste en un informe más riguroso, con un mayor número de parámetros e indicaciones sobre la instalación proyectada.

Para la explicación de este “Informe Completo”, se ha escogido uno referente a una instalación con dos pasos y tres etapas (dos etapas en el primer paso y una en el segundo). Debido a la gran extensión del informe resultante, éste se presentará en tres partes:

- La figura 5.80, donde se han dividido y enumerado las partes que hacen referencia al primer paso (apartado A).

- La figura 5.83, donde se han dividido y enumerado las partes que hacen referencia al segundo paso (apartado B).

- La figura 5.84, donde se muestra el cálculo de precipitaciones en la instalación (apartado C).

Así pues, se dividirá la explicación del informe en tres partes: la que corresponde al paso 1, la que corresponde al paso 2 y el cálculo de precipitaciones.

A) Descripción del Paso 1

Detail Report

Información del Proyecto: El proyecto e1 consta de tres casos diferentes: -El primero se realizará con una presurización 0.345 bares antes de la primera etapa -El segundo se realizará con una presurización 0.75 bares antes de la primera etapa -El tercero se realizará con una presurización 1.5 bares antes de la primera etapa 1

Detalles del Sistema-- Paso 1 2

Caudal de Alimentación a la 1ª Etapa	4.00 m³/h	Caudal de Permeado Paso 1	1.00 m³/h	Presión Osmótica:	
Caudal de Agua Bruta al Sistema	4.00 m³/h	Conversión Paso 1	25.00 %	Alimentación	0.75 bar
Presión de Alimentación	8.52 bar	Temperatura de Alimentación	24.5 C	Concentrado	0.99 bar
Factor de flujo	0.85	STD Alimentación	1129.39 mg/l	Media	0.87 bar
Dosificación Química	Ninguno	Número de Elementos	16	NDP media	5.38 bar
Área Activa Total	126.34 M²	Flujo específico medio Paso 1	7.92 lmh	Potencia	1.18 kW
Clasificación del Agua:Permeado OI SDI < 1				Energía Específica	1.18 kWh/m³
Conversión del Sistema	3.75 %			Caudal de concentrado del Paso 2	0.00 m³/h

Etapa	Elemento	Nº Cajas de presión	Nº Elementos	Caudal de Alimentación (m³/h)	Presión de Alimentación (bar)	Caudal de Recirculación (m³/h)	Caudal de concentrado (m³/h)	Presión del concentrado (bar)	Caudal de Permeado (m³/h)	Flujo específico medio (lmh)	Presión de Permeado (bar)	Presión Booster (bar)	STD Permeado (mg/l)
1	SW30HRLE-4040	2	4	4.00	7.77	0.00	3.41	6.57	0.59	9.33	0.00	0.00	7.25
2	SW30HRLE-4040	2	4	3.41	5.82	0.00	3.00	4.83	0.41	6.50	0.00	0.00	11.61

Corrientes Paso (mg/l como ión)							
Nombre	Alimentación	Alimentación ajustada	Concentrado		Permeado		
			Etapa 1	Etapa 2	Etapa 1	Etapa 2	Permeado Total
NH4	2.69	2.64	3.12	3.53	0.13	0.18	0.15
K	4.38	4.36	5.08	5.74	0.20	0.32	0.25
Na	366.22	395.81	463.84	526.89	2.07	3.37	2.60
Mg	6.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	16.50	0.10	0.12	0.13	0.00	0.00	0.00
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	0.03	0.03	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00
HCO3	9.29	9.30	10.87	12.33	0.15	0.18	0.16
NO3	41.53	41.71	48.61	54.87	1.80	2.89	2.25
Cl	374.01	375.63	440.14	499.89	2.27	3.69	2.85
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	296.84	298.13	349.59	397.39	0.29	0.47	0.36
SiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Boro	0.29	0.29	0.33	0.36	0.07	0.10	0.08
CO2	0.36	0.36	0.37	0.38	0.30	0.31	0.31
STD	1119.79	1129.39	1323.28	1502.85	7.25	11.61	9.04
pH	7.49	7.49	7.54	7.57	5.91	5.97	5.94

Advertencias de Diseño-- Paso 1

-Ninguno-

Advertencias de Solubilidad-- Paso 1

-Ninguno-

Detalles Etapa-- Paso 1 3

Etapa 1 Elemento	Conversión	Caudal de Permeado (m³/h)	STD Permeado (mg/l)	Caudal de Alimentación (m³/h)	STD Alimentación (mg/l)	Presión de Alimentación (bar)
1	0.04	0.08	6.38	2.00	1129.39	7.77
2	0.04	0.08	6.95	1.92	1175.83	7.45
3	0.04	0.07	7.57	1.85	1223.63	7.14
4	0.04	0.07	8.25	1.77	1272.79	6.84
Etapa 2 Elemento	**Conversión**	**Caudal de Permeado (m³/h)**	**STD Permeado (mg/l)**	**Caudal de Alimentación (m³/h)**	**STD Alimentación (mg/l)**	**Presión de Alimentación (bar)**
1	0.03	0.06	10.20	1.71	1323.28	5.82
2	0.03	0.05	11.13	1.65	1367.98	5.55
3	0.03	0.05	12.15	1.60	1412.91	5.30
4	0.03	0.05	13.28	1.55	1457.92	5.06

Figura 5.80: Ejemplo de "Informe Completo" referido al Paso 1

Como se puede observar en la figura 5.80, el Informe Completo referido al primer paso se ha dividido en tres partes para su mejor descripción. A continuación se procederá a explicar cada una de ellas.

1) Información del Proyecto: La parte etiquetada mediante un número 1, y recuadrada por el rectángulo rojo en la figura 5.80 corresponde a la zona en la que el informe muestra la información que el usuario desea indicar acerca del proyecto que ha ejecutado. Dicha información es la que se introdujo en el cuadro de texto de "Notes", en la pestaña de "1) Project Information", explicada en el apartado 5.2.1.

2) Detalles del Sistema—Paso 1: La parte etiquetada mediante un número 2, y recuadrada por el rectángulo verde en la figura 5.80 corresponde a la zona en la que el informe muestra los parámetros y advertencias referidas al primer paso de la instalación proyectada.

Debido a la extensión de esta parte, se ha decidido dividirla en diversas zonas, mostradas en la figura 5.81:

Detalles del Sistema-- Paso 1 2

a

Caudal de Alimentación a la 1ª Etapa	4.00 m³/h	Caudal de Permeado Paso 1	1.00 m³/h
Caudal de Agua Bruta al Sistema	4.00 m³/h	Conversión Paso 1	25.00 %
Presión de Alimentación	8.52 bar	Temperatura de Alimentación	24.5 C
Factor de flujo	0.85	STD Alimentación	1129.39 mg/l
Dosificación Química	Ninguno	Número de Elementos	16
Área Activa Total	126.34 M²	Flujo específico medio Paso 1	7.92 lmh
Clasificación del Agua:Permeado OI SDI < 1			
Conversión del Sistema	3.75 %		

b

Presión Osmótica:	
Alimentación	0.75 bar
Concentrado	0.99 bar
Media	0.87 bar
NDP media	5.38 bar
Potencia	1.18 kW
Energía Específica	1.18 kWh/m³
Caudal de concentrado del Paso 2	0.00 m³/h

c

Etapa	Elemento	Nº Cajas de presión	Nº Elementos	Caudal de Alimentación (m³/h)	Presión de Alimentación (bar)	Caudal de Recirculación (m³/h)	Caudal de concentrado (m³/h)	Presión del concentrado (bar)	Caudal de Permeado (m³/h)	Flujo específico medio (lmh)	Presión de Permeado (bar)	Presión Booster (bar)	STD Permeado (mg/l)
1	SW30HRLE-4040	2	4	4.00	7.77	0.00	3.41	6.57	0.59	9.33	0.00	0.00	7.25
2	SW30HRLE-4040	2	4	3.41	5.82	0.00	3.00	4.83	0.41	6.50	0.00	0.00	11.61

d

Corrientes Paso (mg/l como ión)							
Nombre	Alimentación	Alimentación ajustada	Concentrado		Permeado		
			Etapa 1	Etapa 2	Etapa 1	Etapa 2	Permeado Total
NH4	2.69	2.64	3.12	3.53	0.13	0.18	0.15
K	4.38	4.36	5.08	5.74	0.20	0.32	0.25
Na	366.22	395.81	463.84	526.89	2.07	3.37	2.60
Mg	6.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	16.50	0.10	0.12	0.13	0.00	0.00	0.00
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	0.03	0.03	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00
HCO3	9.29	9.30	10.87	12.33	0.15	0.18	0.16
NO3	41.53	41.71	48.61	54.87	1.80	2.89	2.25
Cl	374.01	375.63	440.14	499.89	2.27	3.69	2.85
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	296.84	298.13	349.59	397.39	0.29	0.47	0.36
SiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Boro	0.29	0.29	0.33	0.36	0.07	0.10	0.08
CO2	0.36	0.36	0.37	0.38	0.30	0.31	0.31
STD	1119.79	1129.39	1323.28	1502.85	7.25	11.61	9.04
pH	7.49	7.49	7.54	7.57	5.91	5.97	5.94

e

Advertencias de Diseño-- Paso 1

-Ninguno-

Advertencias de Solubilidad-- Paso 1

-Ninguno-

Figura 5.81: Partes de "Detalles del Sistema—Paso1

- **a) Parámetros generales del primer paso:** Los parámetros que se incluyen dentro del cuadro marcado con una “a” en la figura 5.81 corresponden a los parámetros generales que hacen referencia al primer paso de la instalación (a no ser que en su nombre se especifique “del sistema”, en cuyo caso englobarán a la instalación al completo). El usuario observará que la mayoría de los parámetros que aquí se muestran aparecen también en el “Resumen del Diseño del Sistema”, por lo que fueron explicados allí.

  -Caudal de Alimentación a la 1ª Etapa: indica el caudal que entra a la primera etapa del primer paso.

  -Caudal de Agua Bruta al Sistema: indica el caudal que entra globalmente al sistema. Este caudal será igual al que entra a la primera etapa del primer caso siempre y cuando en la instalación no se encuentren presentes recirculaciones (véase apartado 5.2.4.3.E), que provocarían que el caudal de entrada al primer paso fuese mayor que el caudal de agua bruta al sistema.

  -Presión de Alimentación: indica la presión que presenta la corriente de entrada a la primera etapa del primer paso. Esta presión puede haber sido fijada por el usuario (en “Feed Pressure”, descrito en el apartado 5.2.4.5.B) o bien puede haber sido calculada por el programa para conseguir los caudales fijados en el diseño de la instalación.

  -Factor de Flujo: indica el factor de flujo que presentan todas las etapas del primer paso.

  -Dosificación Química: indica si antes de la entrada al primer paso, la corriente de alimentación se ve sometida a algún tratamiento químico, como la adición de un ácido o una base para regular su pH.

-Área Activa Total: indica el área activa (véase definición en el apartado 4.2.3.2) resultado de sumar la totalidad de los elementos presentes en el primer paso, incluyendo todas sus etapas.

-Clasificación del Agua: indica el tipo de agua que entra al primer paso, según su procedencia y SDI.

-Conversión del Sistema: indica la conversión total del sistema, es decir, el producto de multiplicar la conversión del primer paso por la del segundo paso. Para la definición de conversión (o "Recovery"), consultar el apartado 4.2.3.4.

-Caudal de Permeado Paso 1: indica el caudal de producto total que permea en todas las etapas del primer paso.

-Conversión Paso 1: indica la conversión referida únicamente al paso 1, con todas sus etapas.

-Temperatura de Alimentación: indica la temperatura a la que entra la corriente de alimentación. Esta temperatura se mantendrá durante toda la instalación.

-STD Alimentación: indica el valor del parámetro TDS (ver definición en apartado 4.2.2) en la corriente de alimentación que entra en el primer paso.

-Número de Elementos: indica el resultado de multiplicar todas las etapas de las que consta el paso 1 por el número de recipientes de presión presentes en cada etapa y por el número de elementos de que consta cada recipiente de presión.

-Flujo específico medio Paso 1: indica el flujo específico que permea de forma media a través de las membranas de todas las etapas del paso, tal y como se explicó en el apartado 5.2.5.2.1.B.

- **b) Parámetros energéticos del primer paso:** Los parámetros que se incluyen dentro del cuadro marcado con una “b” en la figura 5.81 corresponden a los parámetros energéticos (y de otros tipos) que hacen referencia al primer paso de la instalación.

-Presión osmótica: indica los valores de presión osmótica que presentan la alimentación y la corriente de concentrado del primer paso, así como la media entre ambas.

-NDP Media: indica el valor medio de la NDP (*Net Driving Pressure*) en todas las etapas de las que consta el primer paso. La NDP consiste en la presión disponible para forzar el paso de las moléculas de agua desde el compartimento de alta presión al de baja, y es el resultado de la siguiente ecuación:

$$NDP = P_{AP} - P_{BP} - \Delta P_O$$

Siendo:

-P_{AP} la presión medida en el compartimento de alta presión, es decir, la presión de alimentación.

-P_{BP} la presión medida en el compartimento de baja presión, es decir, la contrapresión.

-ΔP_O la diferencia de presiones osmóticas a ambos lados de la membrana.

Como se puede observar, valores altos de NDP indican una elevada fuerza impulsora, que permitirá un elevado flujo desde el compartimento de baja al de alta presión.

-Potencia: Indica la potencia necesaria para mantener en funcionamiento el primer paso con las características indicadas.

-Energía Específica: Indica la energía que cuesta la producción de $1m^3$ de permeado del primer paso.

-Caudal de concentrado del Paso 2: indica el caudal de concentrado del segundo paso que se recircula a la alimentación del primero.

- **c) Parámetros por etapas del primer paso:** Los parámetros que se incluyen dentro de la tabla etiquetada con una letra "c" en la figura 5.81 corresponden a los parámetros de cada una de las etapas que forman el primer paso.

  En dicha tabla se muestran, para cada una de las etapas (que corresponden a las filas) los siguientes parámetros:

  -Elemento: indica el elemento del que consta dicha etapa. En el ejemplo mostrado en la figura 5.81 se observa que, tanto en la primera como en la segunda etapa del primer paso se ha decidido instalar el elemento SW30HRLE-4040.

  -Nº Cajas de Presión: indica el número de recipientes de presión de los que consta cada etapa.

  -Nº Elementos: indica el número de elementos de que consta cada caja de presión.

  -Caudal de Alimentación: indica el caudal que entra en cada una de las etapas. En el ejemplo mostrado en la figura 5.81 se observa que el caudal de alimentación a la segunda etapa (3,41 m^3) resulta de restar al caudal de alimentación a la primera etapa (4 m^3) el caudal que permea en ella (0,59 m^3), y que por tanto, no podrá llegar a la segunda etapa.

  -Presión de Alimentación: indica la presión a la que se encuentra la corriente de alimentación de cada una de las etapas.

-Caudal de Recirculación: indica los caudales debidos a recirculaciones en cada una de las etapas.

-Caudal de Concentrado: indica los caudales que presentan los concentrados que salen de cada una de las etapas del primer paso. Nótese que el caudal de concentrado que sale de la primera etapa se convierte en la alimentación de la segunda. Así pues, el caudal de concentrado que sale de la última etapa del paso será el concentrado total de dicho paso.

-Presión del Concentrado: indica la presión a la que se encuentran las corrientes de concentrado de cada etapa dentro del primer paso.

-Caudal de Permeado: indica los caudales de permeado que presenta cada una de las etapas del primer paso. Su suma constituye el permeado total de paso 1.

-Flujo específico medio: indica los flujos específicos medios en cada una de las etapas del primer paso.

-Presión de Permeado: indica la presión que el usuario ha fijado como “Back Pressure” o contrapresión a la salida de cada etapa, tal y como se indicó en el apartado 5.2.4.5.E de este manual. Un valor de 0,00 como el que se muestra en las etapas de la figura 5.81 no indica que dicha presión sea 0,00 bar, sino que el usuario no la especificó, dejándola libre.

-Presión Booster: indica la presión de impulso que el usuario fijó como “Boost” antes de la entrada de cada etapa posterior a la prmera (La “Boost Pressure” de la primera etapa se denomina “Feed Pressure) tal y como se indicó en el apartado 5.2.4.5.B. Un valor de 0,00 como el que se muestra en las etapas de la

figura 5.81 no indica que dicha presión sea 0,00 bar, sino que el usuario no la especificó, dejándola libre.

-STD Permeado: indica el valor del parámetro TDS en la corriente de permeado que sale de cada una de las etapas del primer paso.

- **d) Tabla de parámetros de corrientes del primer paso:** La tabla etiquetada con una letra "d" en la figura 5.81 da al usuario una completa información acerca de las características químicas de todas las corrientes del primer paso.

  Como se puede observar en la figura 5.81, se muestran las características químicas de cuatro tipos de corrientes, representadas por columnas en la tabla:

  -Corriente de alimentación bruta, es decir, la corriente de alimentación antes de que se le realice ningún tratamiento previo (ajuste del pH o intercambio iónico).

  -Corriente de alimentación ajustada, que es la resultante de la salida del tratamiento previo. En caso de que no se llevase a cabo ninguno, esta columna coincidiría con la anterior.

  -Corrientes de concentrado. En el ejemplo mostrado en la figura 5.81, puesto que el primer paso consta de dos etapas, se pueden observar por separado las características de cada una de las corrientes de rechazo.

  -Corrientes de permeado. En el ejemplo mostrado en la figura 5.81, puesto que el primer paso consta de dos etapas, se pueden observar por separado las características de cada una de las corrientes permeado, además de los parámetros

correspondientes al permeado total del primer paso, que resultará de la unión de los dos permeados de las etapas individuales.

- **e) Avisos del sistema:** En la zona marcada con una letra "e" en la figura 5.81 se muestran los avisos que el programa muestra al usuario para advertirle de posibles defectos en el proyecto en ejecución. Estos avisos son idénticos a los mostrados en el "Resumen del Diseño del Sistema", explicados en el apartado 5.2.5.2.1.E de este manual.

3) Detalles Etapa—Paso 1: La parte etiquetada con un número 3 y recuadrada en un rectángulo azul en la figura 5.80 corresponde a la zona en la que el informe muestra los detalles referentes a cada etapa del paso 1, desgranando la información en todos sus elementos. En la figura 5.82 se muestra de forma ampliada:

Detalles Etapa-- Paso 1 3

Etapa 1 Elemento	Conversión	Caudal de Permeado (m^3/h)	STD Permeado (mg/l)	Caudal de Alimentación (m^3/h)	STD Alimentación (mg/l)	Presión de Alimentación (bar)
1	0.04	0.08	6.38	2.00	1129.39	7.77
2	0.04	0.08	6.95	1.92	1175.83	7.45
3	0.04	0.07	7.57	1.85	1223.63	7.14
4	0.04	0.07	8.25	1.77	1272.79	6.84
Etapa 2 Elemento	**Conversión**	**Caudal de Permeado (m^3/h)**	**STD Permeado (mg/l)**	**Caudal de Alimentación (m^3/h)**	**STD Alimentación (mg/l)**	**Presión de Alimentación (bar)**
1	0.03	0.06	10.20	1.71	1323.28	5.82
2	0.03	0.05	11.13	1.65	1367.98	5.55
3	0.03	0.05	12.15	1.60	1412.91	5.30
4	0.03	0.05	13.28	1.55	1457.92	5.06

Figura 5.82: Detalles Etapa – Paso 1

Todos los parámetros que aparecen en "Detalles Etapa—Paso 1" ya fueron explicados en "Detalles del Sistema—Paso 1" (véase apartado anterior).

Como se observa en la figura 5.82, esta zona del informe detallado muestra cómo varían diferentes parámetros dentro de cada etapa. Para cada etapa se muestran los parámetros referidos a cada elemento <u>para un único recipiente de presión</u>. Puesto que todos los recipientes de presión de que consta una etapa se encuentran en paralelo, todos ellos presentarán los mismos parámetros para un elemento dado.

Por ejemplo, si se toman los caudales de permeado de cada elemento de la segunda etapa, se tiene: 0,06 + 0,05 + 0,05 + 0,05 = 0,21 m^3/h que permean en cada recipiente de presión de la segunda etapa. Puesto que la segunda etapa consta de 2 recipientes de presión, se tiene que su caudal de permeado es de 0,21 x 2 = 0,42 m^3/h.

B) Descripción del paso 2

Información del Proyecto: El proyecto e1 consta de tres casos diferentes: -El primero se realizará con una presurización 0.345 bares antes de la primera etapa -E segundo se realizará con una presurización 0.75 bares antes de la primera etapa -El tercero se realizará con una presurización 1.5 bares antes de la primera etapa 1'

Detalles del Sistema-- Paso 2 2'

Caudal de Alimentación a la 1ª Etapa	1.17 m³/h	Caudal de Permeado Paso 2	0.15 m³/h	Presión Osmótica:	
Caudal de Agua Bruta al Sistema	4.00 m³/h	Conversión Paso 2	15.00 %	Alimentación	0.01 bar
Presión de Alimentación	2.42 bar	Temperatura de Alimentación	24.5 C	Concentrado	0.01 bar
Factor de flujo	0.85	STD Alimentación	8.91 mg/l	Media	0.01 bar
Dosificación Química	Ninguno	Número de Elementos	8	NDP media	1.56 bar
Área Activa Total	63.17 M²	Flujo específico medio Paso 2	2.37 lmh	Potencia	0.10 kW
Clasificación del Agua: Permeado OI SDI < 1				Energía Específica	0.66 kWh/m³
Conversión del Sistema	3.75 %				

Etapa	Elemento	Nº Cajas de presión	Nº Elementos	Caudal de Alimentación (m³/h)	Presión de Alimentación (bar)	Caudal de Recirculación (m³/h)	Caudal de concentrado (m³/h)	Presión del concentrado (bar)	Caudal de Permeado (m³/h)	Flujo específico medio (lmh)	Presión de Permeado (bar)	Presión Booster (bar)	STD Permeado (mg/l)
1	SW30HRLE-4040	2	4	1.17	1.67	0.17	1.02	1.46	0.15	2.37	0.00	0.00	0.82

Corrientes Paso (mg/l como ión)						
Nombre	Alimentación	Alimentación ajustada		Concentrado	Permeado	
		Inicial	Después de reciclos	Etapa 1	Etapa 1	Permeado Total
NH4	0.15	0.11	0.11	0.17	0.07	0.07
K	0.25	0.25	0.25	0.28	0.04	0.04
Na	2.60	2.59	2.65	3.03	0.11	0.11
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NO3	2.25	2.26	2.31	2.60	0.33	0.33
Cl	2.85	2.87	2.94	3.36	0.07	0.07
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	0.36	0.36	0.37	0.43	0.00	0.00
SiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Boro	0.08	0.08	0.08	0.09	0.04	0.04
CO2	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
STD	9.04	8.91	9.12	10.33	0.82	0.82
pH	5.94	8.03	8.03	8.04	7.96	7.96

Advertencias de Diseño-- Paso 2

-Ninguno-

Advertencias de Solubilidad-- Paso 2

-Ninguno-

Detalles Etapa-- Paso 2 3'

Etapa 1 Elemento	Conversión	Caudal de Permeado (m³/h)	STD Permeado (mg/l)	Caudal de Alimentación (m³/h)	STD Alimentación (mg/l)	Presión de Alimentación (bar)
1	0.03	0.02	0.76	0.59	9.12	1.67
2	0.03	0.02	0.80	0.57	9.41	1.61
3	0.03	0.02	0.85	0.55	9.71	1.56
4	0.03	0.02	0.89	0.53	10.02	1.51

Figura 5.83: Ejemplo de "Informe Completo" referido al Paso 2

En la figura 5.83 se muestra el "Detail Report" o Informe Completo referido al segundo paso (apartado 5.2.5.2.2.A). Como puede observar, dicho informe es idéntico al referido al primer paso, aunque en el ejemplo mostrado en la figura 5.83, el segundo paso solamente cuenta con una etapa.

C) Cálculo de Precipitaciones

Cálculo de Precipitaciones 1

	Agua Bruta	Alimentación ajustada Paso 1	Concentrado Paso 1	Concentrado Paso 2
pH	7.49	7.49	7.57	8.04
Índice de Saturación Langelier	-1.95	-4.17	-3.85	0.00
Índice de estabilidad Stiff & Davis	-1.61	-3.81	-3.60	0.00
Fuerza Iónica (Molal)	0.02	0.02	0.03	0.00
STD (mg/l)	1119.79	1128.04	1502.85	10.33
HCO3	9.29	9.29	12.33	0.00
CO2	0.36	0.36	0.38	0.00
CO3	0.03	0.03	0.05	0.00
CaSO4 (% Saturación)	1.00	0.01	0.01	0.00
BaSO4 (% Saturación)	0.00	0.00	0.00	0.00
SrSO4 (% Saturación)	0.00	0.00	0.00	0.00
CaF2 (% Saturación)	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO2 (% Saturación)	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg(OH)2 (% Saturación)	0.00	0.00	0.00	0.00

Para hacer el balance:0.00 mg/l Clañadido a la alimentación 2

3

Print Print Setup Close Overview Report

Figura 5.84: Ejemplo de "Informe Completo" referido al Cálculo de Precipitaciones

Como se puede observar en la figura 5.84, la parte final de la ventana emergente "Detail Report" presenta tres zonas, que se han diferenciado y etiquetado:

1) Tabla de cálculo de precipitaciones: la tabla destacada en rojo y marcada con un número 1 en la figura 5.84 muestra todos los parámetros de interés referidos a la posible precipitación de sustancias sólidas en cuatro corrientes de la instalación:

-Agua Bruta: corriente de alimentación antes de que se le realice ningún tratamiento previo (ajuste del pH o intercambio iónico).

-Alimentación ajustada Paso 1: corriente resultante de la salida del tratamiento previo. En caso de que no se llevase a cabo ninguno, esta columna coincidiría con la anterior. Esta corriente será la que entre a la primera etapa del paso 1.

-Concentrado Paso 1: corriente de rechazo del primer paso. Esta corriente es la que presenta un mayor riesgo de precipitación de sólidos, ya que es la corriente con un mayor TDS de la instalación.

-Concentrado Paso 2: corriente de rechazo del segundo paso.

La totalidad de los parámetros que aparecen en la tabla fueron explicados en el apartado 4.2.2 de este manual.

2) Iones añadidos para ajustar la alimentación: la zona recuadrada en verde y marcada con un número 2 en la figura 5.84 corresponde a la parte en la que el informe detalla la adición automática de iones para ajustar la alimentación.

En el caso de que el usuario no ajustase correctamente la alimentación, de forma que el balance iónico no resultase correcto (véase apartado 5.2.2.9), el programa se encargaría de añadir tantos cationes o aniones como fuese necesario para que este balance se completase.

Para ajustar el balance, ROSA añadirá los cationes/aniones presentes en la sal que el usuario haya elegido en la opción de “Balance Chemical” (véase apartado 5.1.2.4).

En el ejemplo mostrado en la figura 5.84, el balance iónico de la alimentación estaba bien ajustado, por lo que no hizo falta la adición de cloruros (se añadieron 0,00 mg/l de Cl^-).

3) Opciones adicionales: la zona recuadrada en azul y marcada con un número 3 en la figura 5.84 corresponde a la única parte interactiva de la ventana “Detail Report”. Consta de cuatro botones:

- Print: Al pulsar este botón, el programa envía automáticamente a imprimir una copia del informe completo mostrado en la ventana “Detail Report”.

- Print Setup: Al pulsar este botón, el programa abre una ventana de configuración de la impresión. En ella, el usuario podrá escoger preferencias de impresión, la impresora a la que se asignará la tarea, el número de copias, etc.

- Close: Al pulsar este botón, la ventana emergente de “Detail Report” se cerrará, manteniéndose el programa ROSA abierto.

- Overview Report: Al pulsar este botón, el programa abrirá otra ventana emergente en la que se mostrará el “Resumen del Diseño del Sistema”, explicado en el apartado 5.2.5.2.1. Mostrará exactamente el mismo aspecto que cuando se encontraba integrado en la interfaz de ROSA, pero en este caso presentará en su parte inferior tres botones, análogos a los que aquí se explican: “Print”, “Print Setup” y “Close”. De esta forma se puede también imprimir el “Resumen del Diseño del Sistema”.

ROSA guarda automáticamente todos los informes generados (tanto los “Detail Report” como los “Overview Report”) en forma de archivos .html dentro de la carpeta seleccionada como receptora de este tipo de archivos de salida (véase apartado 5.1.2.3 de este manual).

5.2.6 Cost Analysis (Análisis de Costos)

La sexta y última pestaña principal corresponde al “Cost Analysis”, es decir, al análisis de costos. Esta pestaña conduce a una herramienta, llamada EVA (*Element Value Analysis*), que permite al usuario un breve análisis económico comparativo de los diferentes elementos que operan en un mismo sistema bajo las mismas condiciones.

Al clicar sobre la pestaña “6) Cost Analysis”, el programa hará aparecer una ventana emergente, que presenta el aspecto que se muestra en la figura 5.85:

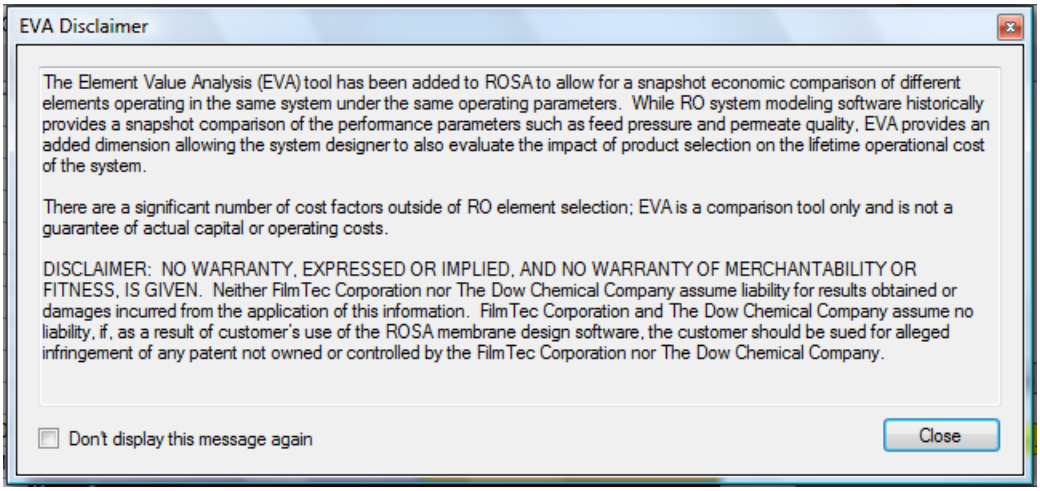


Figura 5.85: Ventana de “Eva Disclaimer”

En dicha ventana, ROSA avisa al usuario que EVA es una herramienta de comparación y no una garantía del capital o los costes de operación reales de la instalación. Además, descarga a “The Dow Chemical Company” y a “Film Tec Corporation” de toda responsabilidad por los resultados obtenidos o los daños ocasionados por la aplicación de esta información.

Esta ventana de “Eva Disclaimer” es sólo informativa, y el usuario puede cerrarla (clicando sobre el botón “Close”), o cerrarla evitando que vuelva a aparecer (marcando la casilla “Don’t display this message again” y luego pulsando el botón “Close”).

Una vez cerrada esta ventana emergente, el usuario se encontrará con el aspecto de la ventana de “Cost Analysis”, que se muestra en la figura 5.86:

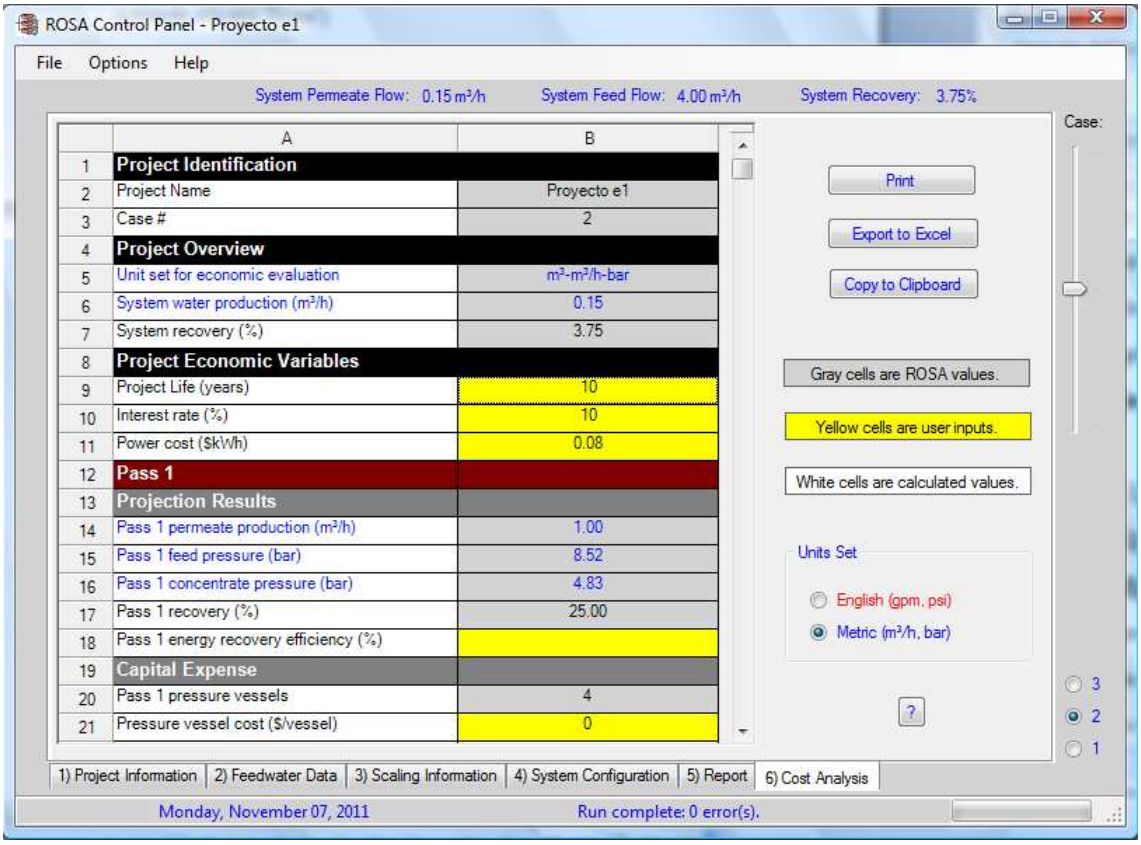


Figura 5.86: Ventana de “6) Cost Analysis”

Como se puede observar en la figura 5.86, la herramienta EVA se sitúa a la izquierda de la ventana de “Cost Analysis”, y tiene formato de hoja Excel. De hecho será posible exportarla a una hoja Excel, tal y como se mostrará más adelante.

Para una mejor descripción, se ha decidido dividir la ventana de “Cost Analysis” en varias partes, tal y como se muestra en la figura 5.87.

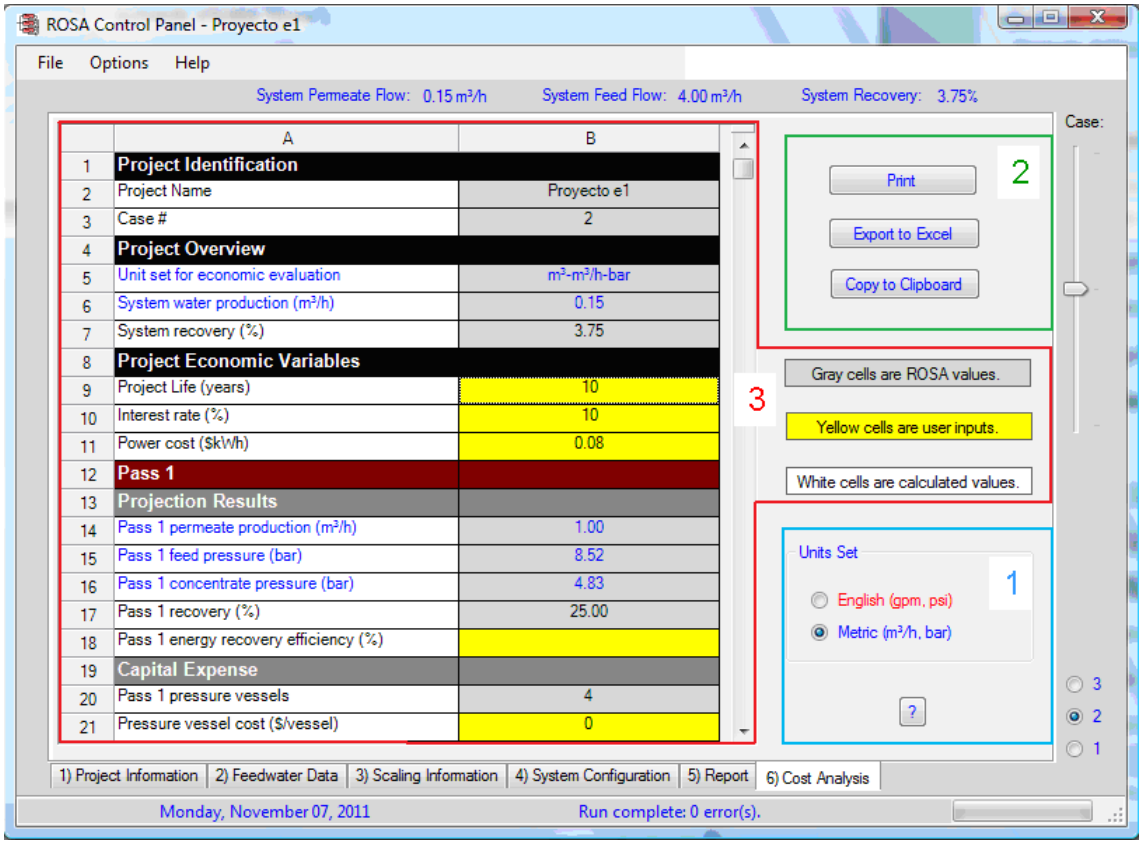


Figura 5.87: Partes de la ventana de "6) Cost Analysis".

5.2.6.1 Unit Set (Set de Unidades)

La parte de la figura 5.87 rodeada por un rectángulo azul y marcada con un número 1 corresponde a la selección del set de unidades.

El usuario puede marcar la casilla que desee en función de que set de unidades prefiera que el programa muestre en el análisis de costos:

- Si marca "English", el programa mostrará los caudales en gpm y las presiones en psi.

- Si marca "Metric", el programa mostrará los caudales en m^3/h y las presiones en bar.

Debajo de las dos casillas se encuentra un botón con un símbolo de interrogación. Al clicar sobre este botón aparecerá la ventana emergente de "Eva Disclaimer", mostrada en la figura 5.85.

5.2.6.2 Opciones Adicionales

La parte de la figura 5.87 rodeada por un rectángulo verde y marcada con un número 2 corresponde a las opciones adicionales de la ventana de "Cost Analysis". Como se puede observar en dicha figura, hay tres botones:

- "Print": Al pulsar este botón, el programa abrirá la ventana de configuración de impresión para seleccionar las preferencias que desee el usuario (número de copias, blanco y negro o color, etc.) a la hora de imprimir la herramienta EVA.

- "Export to Excel": Esta herramienta permite exportar la hoja de cálculo de EVA a una hoja Excel. Funciona exactamente igual que la exportación de la tabla de simulaciones de una prueba discontinua, ya explicada en el apartado 5.2.5.1 (véase figura 5.69).

- "Copy to Clipboard": Esta herramienta, traducida como "Copiar al Portapapeles" permite al usuario copiar una parte de la hoja de cálculo EVA, simplemente seleccionándola y pulsando a continuación el botón de "Copy to Clipboard". Una vez el usuario se encuentre en una hoja Excel, podrá pegarla de la forma habitual, manteniendo el formato que presentaba en la hoja EVA.

5.2.6.3 Hoja de Cálculo de EVA

La parte resaltada en rojo y marcada mediante un número 3 en la figura 5.87 corresponde a la hoja de cálculo de EVA.

Como se puede observar en dicha figura, a la derecha de la hoja de cálculo el programa muestra una indicación importante:

- Las celdas grises son valores de ROSA, provenientes de la ejecución del proyecto en la pestaña de “5) Report”, por lo que el usuario no deberá manipularlas.

- Las celdas amarillas son celdas de entrada, en las que el usuario deberá introducir los valores que estime oportuno para cada variable.

- Las celdas blancas son celdas calculadas automáticamente por la hoja de cálculo de EVA, por lo que el usuario tampoco deberá manipularlas.

Así pues, se concluye que el usuario únicamente deberá rellenar las celdas amarillas de la hoja de cálculo de EVA.

Toda la parte izquierda de la figura 5.87 corresponde a la hoja de cálculo en cuestión. Como se puede observar en la barra de desplazamiento vertical, esta hoja es mucho más extensa de lo que se muestra.

A continuación se muestra la hoja de cálculo completa. Debido a su extensión, ésta será presentada en dos figuras: la 5.88 y la 5.89.

	A	B
1	**Project Identification**	
2	Project Name	Proyecto e1
3	Case #	2
4	**Project Overview**	
5	Unit set for economic evaluation	m³-m³/h-bar
6	System water production (m³/h)	0.15
7	System recovery (%)	3.75
8	**Project Economic Variables**	
9	Project Life (years)	10
10	Interest rate (%)	10
11	Power cost ($kWh)	0.08
12	**Pass 1**	
13	**Projection Results**	
14	Pass 1 permeate production (m³/h)	1.00
15	Pass 1 feed pressure (bar)	8.52
16	Pass 1 concentrate pressure (bar)	4.83
17	Pass 1 recovery (%)	25.00
18	Pass 1 energy recovery efficiency (%)	
19	**Capital Expense**	
20	Pass 1 pressure vessels	4
21	Pressure vessel cost ($/vessel)	0
22	Pass 1 capital for pressure vessels	$0.00
23	Product	30HRLE-4040 (4) SW30HRLE-4040
24	Pass 1 total elements	16
25	Element cost ($/element)	$0.00
26	Pass 1 capital for elements ($)	$0.00
27	Pass 1 capital ($)	$0.00
28	Pass 1 capital($/m³)	$0.00
29	**Operating Expense**	
30	**Power**	
31	Pass 1 pumping power (kW)	1.18
32	Pass 1 pump specific energy (kWh/m³)	1.18
33	Brine energy recovery (kWh/m³)	0.00
34	Pass 1 net energy consumption (KWh/m³)	1.18
35	Pass 1 net energy cost ($/year)	$49.79
36	Energy expense NPV ($)	305.95
37	Pass 1 energy expense ($/m³)	$0.09
38	**Membrane replacement cost**	
39	Pass 1 replacement rate (%/year)	13
40	Replacement price ($/element)	$0.00
41	Pass 1 replacement cost for elements ($/year)	$0.00
42	Pass 1 replacement membrane NPV ($)	$0.00
43	Pass 1 membrane replacement expense ($/m³)	$0.00
44	**Operating expense subtotal**	
45	Pass 1 operating expense NPV ($)	$305.95
46	Pass 1 operating expense per m³	$0.09
47	**Pass 1 Total**	
48	Pass 1 cost NPV ($)	$0.00
49	Life Cycle Cost ($/m³)	$0.00
50	**Pass 2**	
51	**Projection Results**	
52	Pass 2 permeate production (m³/h)	0.15
53	Pass 2 feed pressure (bar)	2.42
54	Pass 2 concentrate pressure (bar)	1.46
55	Pass 2 recovery (%)	15.00
56	**Capital Expense**	

Figura 5.88: Hoja de cálculo de EVA. Parte 1.

	A	B
57	Pass 2 pressure vessels	2
58	Pressure vessel cost ($/vessel)	0
59	Pass 2 capital for pressure vessels	$0.00
60	Product	SW30HRLE-4040 (4)
61	Pass 2 total elements	8
62	Element cost ($/element)	$0.00
63	Pass 2 capital for elements ($)	$0.00
64	Pass 2 capital ($)	$0.00
65	Pass 2 capital($/m³)	$0.00
66	**Operating Expense**	
67	**Power**	
68	Pass 2 pumping power (kW)	0.10
69	Pass 2 pump specific energy (kWh/m³)	0.00
70	Pass 2 net energy cost ($/year)	$0.00
71	Pass 2 energy expense NPV ($)	$0.00
72	Energy expense ($/m³)	$0.00
73	**Membrane replacement cost**	
74	Pass 2 replacement rate (%/year)	13
75	Replacement price ($/element)	$0.00
76	Pass 2 replacement cost for elements ($/year)	$0.00
77	Pass 2 replacement membrane NPV ($)	$0.00
78	Pass 2 membrane replacement expense ($/m³)	$0.00
79	**Operating expense subtotal**	
80	Pass 2 operating expense NPV ($)	$0.00
81	Pass 2 operating expense ($/m³)	$0.00
82	**Pass 2 Total**	
83	Pass 2 cost NPV ($)	$0.00
84	Life Cycle Cost ($/m³)	#DIV/0!
85	**Total System**	
86	Capital	$0.00
87	Operating expense NPV ($)	$305.95
88	Cost of water NPV ($/m³)	$0.02

Figura 5.89: Hoja de cálculo de EVA. Parte 2.

En las páginas siguientes se dividirá la hoja de cálculo en cada una de sus secciones principales, mostrándose éstas por separado. Se seguirá un orden descendente: desde las casillas correspondientes a la fila 1 a las correspondientes a la fila 88.

1) Sección general del proyecto

Las casillas correspondientes a las 11 primeras filas de la hoja de cálculo corresponden a la sección general del proyecto. En esta parte se describen características globales de la instalación, tal y como se muestra en la figura 5.90:

1	**Project Identification**	
2	Project Name	Proyecto e1
3	Case #	2
4	**Project Overview**	
5	Unit set for economic evaluation	m^3-m^3/h-bar
6	System water production (m^3/h)	0.15
7	System recovery (%)	3.75
8	**Project Economic Variables**	
9	Project Life (years)	10
10	Interest rate (%)	10
11	Power cost ($kWh)	0.08

Figura 5.90: Hoja de EVA: Sección general del proyecto

Esta sección consta de tres apartados:

1.1 Proyect Identification (Identificación del Proyecto)

Este apartado posee dos celdas no manipulables:

-"Proyect Name": muestra el nombre del proyecto.

-"Case#": especifica el caso del cual se ha realizado el análisis de costes

En el ejemplo mostrado en la figura 5.90, se indica que el análisis de costes se refiere al segundo caso del proyecto llamado "Proyecto e1".

1.2 Proyect Overview (Resumen del Proyecto)

Este apartado consta de tres celdas no manipulables:

-"Unit set for economic evaluation": muestra el set de unidades que se ha escogido para realizar el análisis de costes.

-"System water production (m^3/h)": indica el caudal de producto que se genera en la instalación (caudal de permeado del último paso).

-"System Recovery (%)": indica el porcentaje de recuperación que se da en la instalación.

1.3 Proyect Economic Variables (Variables Económicas del Proyecto)

Este apartado engloba tres celdas amarillas, por lo que el usuario deberá rellenarlas:

-"Project Life (years)": en esta casilla se introduce la cantidad de años de vida útil del proyecto diseñado. Este parámetro será de gran interés para el cálculo del NPV (véase apartado 4.2.4)

-"Interest rate (%)": en esta casilla se introduce la tasa de interés sobre la que se calculará el NPV (véase apartado 4.2.4).

-"Power Cost ($kWh)": en esta casilla se introduce el precio al que el usuario paga la energía, el dólares por kWh.

2) Sección dedicada al Paso 1

Las casillas comprendidas entre la fila 12 y la 49 en la figura 5.88 corresponden a la sección del análisis de costes dedicada al primer paso de la instalación. Esta sección se muestra en la figura 5.91:

12	**Pass 1**	
13	**Projection Results**	
14	Pass 1 permeate production (m³/h)	1.00
15	Pass 1 feed pressure (bar)	8.52
16	Pass 1 concentrate pressure (bar)	4.83
17	Pass 1 recovery (%)	25.00
18	Pass 1 energy recovery efficiency (%)	
19	**Capital Expense**	
20	Pass 1 pressure vessels	4
21	Pressure vessel cost ($/vessel)	0
22	Pass 1 capital for pressure vessels	$0.00
23	Product	30HRLE-4040 (4) SW30HRLE-4040
24	Pass 1 total elements	16
25	Element cost ($/element)	$0.00
26	Pass 1 capital for elements ($)	$0.00
27	Pass 1 capital ($)	$0.00
28	Pass 1 capital($/m³)	$0.00
29	**Operating Expense**	
30	**Power**	
31	Pass 1 pumping power (kW)	1.18
32	Pass 1 pump specific energy (kWh/m³)	1.18
33	Brine energy recovery (kWh/m³)	0.00
34	Pass 1 net energy consumption (KWh/m³)	1.18
35	Pass 1 net energy cost ($/year)	$49.79
36	Energy expense NPV ($)	305.95
37	Pass 1 energy expense ($/m³)	$0.09
38	**Membrane replacement cost**	
39	Pass 1 replacement rate (%/year)	13
40	Replacement price ($/element)	$0.00
41	Pass 1 replacement cost for elements ($/year)	$0.00
42	Pass 1 replacement membrane NPV ($)	$0.00
43	Pass 1 membrane replacement expense ($/m³)	$0.00
44	**Operating expense subtotal**	
45	Pass 1 operating expense NPV ($)	$305.95
46	Pass 1 operating expense per m³	$0.09
47	**Pass 1 Total**	
48	Pass 1 cost NPV ($)	$0.00
49	Life Cycle Cost ($/m³)	$0.00

Figura 5.91: Hoja de EVA: Sección dedicada al Paso 1

Como se puede observar en dicha figura, dentro de la sección dedicada al primer paso hay cuatro apartados, que se explicarán a continuación.

2.1 Projection Results (Resultados del Proyecto)

Este apartado consta de cinco casillas: las cuatro primeras son no manipulables, mientras que la quinta deberá ser rellenada por el usuario:

-"Pass 1 permeate production (m^3/h)": en esta casilla se muestra el caudal de permeado que se produce en el primer paso.

-"Pass 1 feed pressure (bar)": en esta casilla se indica la presión que presenta la corriente de alimentación que entra al paso 1.

-"Pass 1 concentrate pressure (bar)": en esta casilla se muestra la presión que presenta la corriente de concentrado que sale del primer paso.

-"Pass 1 recovery (%)": en esta casilla se indica el porcentaje de recuperación que presenta el primer paso de la instalación.

-"Pass 1 energy recovery efficiency (%)": En las grandes plantas de ósmosis inversa, especialmente en las dedicadas a la desalinización de agua marina, es común incluir un sistema de recuperación de energía, que transfiere energía de la corriente de concentrado a la de alimentación. Este sistema presentará gran importancia en instalaciones en las que el caudal de concentrado sea elevado con respecto al de permeado.

Así pues, en esta casilla se debe introducir la eficiencia en porcentaje con la que se lleva a cabo esta recuperación de energía en el primer paso. En caso de que en el primer paso no exista un recuperador de energía, el usuario deberá introducir un 0%.

2.2 Capital Expense (Gastos Fijos)

Este apartado consta de nueve casillas: siete no manipulables y dos que deberán ser rellenadas por el usuario.

-"Pass 1 pressure vessels": esta casilla indica el número de recipientes de presión de los que consta el primer paso.

-"Pressure vessel cost ($/vessel)": en esta casilla el usuario debe introducir el precio (en dólares) de cada recipiente de presión.

-"Pass 1 capital for pressure vessels": en esta casilla el programa calcula el coste de todos los recipientes de presión instalados en el primer paso. Esta casilla mostrará el resultado de multiplicar el número de recipientes de presión del primer paso por el precio de cada uno de ellos.

-"Product": esta casilla indica el tipo de elemento que se ha decidido instalar en cada etapa del primer paso. Para ello se indica el tipo de producto que se encuentra dentro de cada recipiente de presión, incluyendo entre paréntesis el número que hay de cada uno de ellos.

Por ejemplo, si en la casilla de "Product" aparece "SW30HRLE-4040 (4) SW30HRLE-4040 (4)", el programa estará indicando que en el primer paso hay 4 elementos de tipo SW30HRLE-4040 en cada recipiente de presión de la primera etapa, y otros 4 elementos del mismo tipo dentro de cada recipiente de presión de la segunda etapa.

-"Pass 1 total elements": esta casilla indica el número total de elementos instalados en el primer paso. En el ejemplo mostrado en la figura 5.91 son 16 debido a que en el primer paso hay dos etapas, cada una de las cuales consta de dos recipientes de presión, y a su vez cada recipiente de presión contiene cuatro elementos.

-"Element cost ($/element)": en esta casilla, el usuario debe introducir el precio de cada elemento. Si hubiese más de un tipo, se tendría que introducir un precio medio ponderado, de tal forma que el costo total fuese correcto.

-"Pass 1 capital for elements ($)": en esta casilla el programa calcula el coste de todos los elementos instalados en el primer paso. Esta casilla mostrará el resultado de multiplicar el número total de elementos del primer paso por el precio de cada uno de ellos.

-"Pass 1 capital ($)": en esta casilla el programa calcula el coste fijo total referido al primer paso. Este valor será la suma de la casilla "Pass 1 capital for pressure vessels" y "Pass 1 capital for elements ($)".

-"Pass 1 capital ($/m³)": en esta casilla el programa calcula la relación entre los costes fijos del primer paso (en dólares) y el volumen de permeado (en m^3) producido en el primer paso durante los años de operación del sistema.

2.3 Operating Expense (Gastos de Operación)

Este apartado consta de tres subapartados:

2.3.1 Power (Energía)

En este subapartado se indican los gastos de operación referidos al coste de la energía necesaria para mantener la instalación en marcha. Presenta siete casillas no manipulables:

-"Pass 1 pumping power (kW)": en esta casilla el programa muestra la potencia necesaria para el bombeo en el primer paso.

-"Pass 1 pump specific energy (kWh/m³)": esta casilla indica la energía específica del bombeo en el primer paso. Este parámetro es el resultado de dividir la casilla "Pass 1 pumping power (kW)" entre "Pass 1 permeate production (m^3/h)".

-"Brine energy recovery (kWh/m³)": esta casilla indica la energía recuperada en el concentrado, expresada en kWh por m^3 de permeado. Su valor es negativo, ya que es energía que sale del sistema, y dependerá en gran medida del parámetro "Pass 1 energy recovery efficiency (%)".

-"Pass 1 net energy consumption (KWh/m³)": esta casilla muestra el consumo energético neto del primer paso por cada m^3 de permeado producido en él. El valor mostrado será el resultado de restar la casilla de "Brine energy recovery (kWh/m³)" a "Pass 1 pump specific energy (kWh/m³)".

-"Pass 1 net energy cost ($/year)": indica el coste neto anual (en dólares) de la energía utilizada en el paso 1.

-"Energy expense NPV ($)": indica el parámetro NPV (*Net Present Value*) referido a los costes energéticos del primer paso. Este valor se obtiene al aplicar la fórmula del NPV (véase apartado 4.2.4) para:

- Inversión inicial (I_0) de 0$.
- Flujos de caja (V_t) del valor mostrado en la casilla "Pass 1 net energy cost ($/year)", es decir, de los costes netos anuales de la energía utilizada en el primer paso.
- Tipo de interés (k) del valor introducido en la casilla "Interest Rate (%)".

- Número de periodos (n) del valor introducido en la casilla de “Project Life (years)”.

Puesto que sólo se consideran gastos, el valor del NPV saldrá negativo, aunque ROSA lo muestra en valor absoluto.

-“Pass 1 energy expense ($/m³)”: indica el coste de la energía necesaria en el primer paso por cada m^3 de permeado producido en dicho paso. El valor de este parámetro es el resultado de multiplicar las casillas “Pass 1 net energy consumption (KWh/m³)” y “Power cost ($kWh)”.

2.3.2 Membrane Replacement Cost (Coste de Reemplazamiento de las Membranas)

Este subapartado consta de cinco casillas: las dos primeras deberán ser rellenadas por el usuario, mientras que las tres últimas no son manipulables.

-“Pass 1 replacement rate (%/year)”: En esta casilla el usuario debe introducir la tasa con la que se reemplazan los elementos del primer paso. Esta tasa vendrá indicada en el porcentaje de elementos que se cambian cada año.

-“Replacement price ($/element)”: En esta casilla el usuario debe introducir el coste de reemplazar un elemento del primer paso (en dólares).

-“Pass 1 replacement cost for elements ($/year)”: En esta casilla se muestra el coste anual debido al reemplazo de elementos en el primer paso.

-“Pass 1 replacement membrane NPV ($)”: Esta casilla indica el parámetro NPV (*Net Present Value*) referido a los costes debidos al recambio de membranas en el primer

paso. Este valor se obtiene al aplicar la fórmula del NPV (véase apartado 4.2.4) para:

- Inversión inicial (I_0) de 0$.
- Flujos de caja (V_t) del valor mostrado en la casilla "Pass 1 replacement cost for elements ($/year)", es decir, de los costes anuales debidos al recambio de membranas en el paso 1.
- Tipo de interés (k) del valor introducido en la casilla "Interest Rate (%)".
- Número de periodos (n) del valor introducido en la casilla de "Project Life (years)".

Puesto que sólo se consideran gastos, el valor del NPV saldrá negativo, aunque ROSA lo muestra en valor absoluto.

-"Pass 1 membrane replacement expense ($/m³)": En esta casilla se muestra el coste debido al reemplazo de elementos en el paso 1 por cada m^3 de permeado producido en él.

2.3.3 Operating expense subtotal (Subtotal de gastos de operación)

Este subapartado muestra el coste subtotal referido a los gastos de operación del primer paso. Presenta dos casillas no manipulables:

-"Pass 1 operating expense NPV ($)": esta casilla indica los gastos de operación NPV del primer paso. Su valor resulta de la suma de las casillas "Energy expense NPV ($)" y "Pass 1 replacement membrane NPV ($)".

-"Pass 1 operating expense per m³": esta casilla muestra el coste de operación del primer paso por cada m^3 de permeado producido en él. Su valor resulta de la suma de

las casillas “Pass 1 energy expense ($/m³)” y “Pass 1 membrane replacement expense ($/m³)”.

2.4 Pass 1 Total (Total del Paso 1)

Este apartado consta de dos casillas no manipulables:

-“Pass 1 cost NPV ($)”: esta casilla indica el coste NPV del primer paso. Este valor coincide con el de la casilla “Pass 1 capital for elements ($)”.

-“Life Cycle Cost ($/m³)”: esta casilla muestra el cociente entre la casilla “Pass 1 cost NPV ($)” y los m^3 totales de permeado producidos durante su ciclo de vida.

3) Sección dedicada al Paso 2

Las casillas comprendidas entre la fila 50 y la 84 en las figuras 5.88 y 5.89 corresponden a la sección del análisis de costes dedicada al segundo paso de la instalación. Esta sección se muestra en la figura 5.92:

50	**Pass 2**	
51	**Projection Results**	
52	Pass 2 permeate production (m³/h)	0.15
53	Pass 2 feed pressure (bar)	2.42
54	Pass 2 concentrate pressure (bar)	1.46
55	Pass 2 recovery (%)	15.00
56	**Capital Expense**	
57	Pass 2 pressure vessels	2
58	Pressure vessel cost ($/vessel)	0
59	Pass 2 capital for pressure vessels	$0.00
60	Product	SW30HRLE-4040 (4)
61	Pass 2 total elements	8
62	Element cost ($/element)	$0.00
63	Pass 2 capital for elements ($)	$0.00
64	Pass 2 capital ($)	$0.00
65	Pass 2 capital($/m³)	$0.00
66	**Operating Expense**	
67	**Power**	
68	Pass 2 pumping power (kW)	0.10
69	Pass 2 pump specific energy (kWh/m³)	0.00
70	Pass 2 net energy cost ($/year)	$0.00
71	Pass 2 energy expense NPV ($)	$0.00
72	Energy expense ($/m³)	$0.00
73	**Membrane replacement cost**	
74	Pass 2 replacement rate (%/year)	13
75	Replacement price ($/element)	$0.00
76	Pass 2 replacement cost for elements ($/year)	$0.00
77	Pass 2 replacement membrane NPV ($)	$0.00
78	Pass 2 membrane replacement expense ($/m³)	$0.00
79	**Operating expense subtotal**	
80	Pass 2 operating expense NPV ($)	$0.00
81	Pass 2 operating expense ($/m³)	$0.00
82	**Pass 2 Total**	
83	Pass 2 cost NPV ($)	$0.00
84	Life Cycle Cost ($/m³)	#DIV/0!

Figura 5.92: Hoja de EVA: Sección dedicada al Paso 2

Como se puede observar en dicha figura, esta sección es análoga a la referida al primer paso, con unas pocas diferencias, que provienen de que en la sección dedicada al paso 2 no existe la casilla “Pass 2 energy recovery efficiency (%)”.

Al no existir dicha casilla, en la sección referida al segundo paso no aparecerán estas dos celdas (ya que no tendrían sentido):

-"Brine energy recovery (KWh/m^3".

-"Net energy consuption (KWh/m^3)".

Estos dos parámetros se deberían encontrar en el subapartado "Power" de la sección referida al paso 2. Como el resto de la sección es análoga a la explicada para el paso 1, se pasará directamente a la cuarta y última sección de la hoja de cálculo de EVA.

4) Sección final del sistema

Las casillas comprendidas entre la fila 85 y la 88 en la figura 5.89 corresponden a la sección final del análisis de costes, en la que se muestran los resultados globales aplicados a toda la instalación. Esta sección se muestra en la figura 5.93:

85	Total System	
86	Capital	$0.00
87	Operating expense NPV ($)	$305.95
88	Cost of water NPV ($/m³)	$0.02

Figura 5.93: Hoja de EVA: Sección final del sistema

Como se puede observar en dicha figura, esta sección presenta tres casillas, en las que el programa mostrará los resultados finales del análisis de costes del sistema:

-"Capital": Indica los costes fijos totales de sistema completo. Su valor corresponde a la suma de las casillas "Pass 1 capital ($)" y "Pass 2 capital ($)".

-"Operating expense NPV ($)": Indica los gastos totales de operación del sistema completo de acuerdo con el parámetro NPV. Su valor corresponde a la suma de las casillas "Pass 1 operating expense NPV ($)" y "Pass 2 operating expense NPV ($)".

-"Cost of water NPV ($/m³)": Indica el coste total al que se va a producir cada m^3 de permeado. Su valor se calcula sumando las casillas de "Capital" y "Operating expense NPV ($)" y dividiendo su valor por el volumen total en m^3 de producto generado durante los años de funcionamiento de la instalación.

6. Caso Práctico

En este apartado se propone resolver mediante ROSA un caso práctico de desalación de aguas. En este caso se pretende desalar un caudal de agua marina de unos 5 m^3/día, suficiente para el consumo humano en una pequeña empresa.

En la tabla 6.1 se muestran las composiciones medias de agua marina tomadas en distintos lugares del mundo:

Tabla 6.1: Composiciones medias de agua marina (en ppm) según Water Conditioning & Purification Magazine, enero de 2005.

	Agua marina media	Mediterráneo Este	Golfo Arábico	Mar Rojo
Cl^-	18.980	21.200	23.000	22.219
Na^+	10.556	11.800	15.850	14.255
SO_4^{2-}	2.649	2.950	3.200	3.078
Mg^{2+}	1.262	1.403	1.765	742
Ca^{2+}	400	423	500	225
K^+	380	463	460	210
HCO_3^-	140	-	142	146
Sr^{2+}	13	-	-	-
Br^-	65	155	80	72
BO_3^{3-}	26	72	-	-
F^-	1	-	-	-
SiO_3^{2-}	1	-	1,5	-
I^-	<1	2	-	-
Otros	-	-	-	-
TDS	**34.483**	**38.600**	**45.000**	**41.000**

En el caso práctico que se propone, se va a tomar como composición de la alimentación la que posee el agua marina media. Este agua se tomará mediante un pozo, con un valor de SDI menor que 3, un pH de 7,8 y una temperatura de 25 ºC. La alimentación se tomará a 1 bar de presión.

A partir de dicha alimentación, la instalación deberá producir un agua con una composición tal que sea apta para el consumo humano. Generalmente, para aguas destinadas al consumo humano se aceptan valores por debajo de los 1000 ppm de TDS, (por ejemplo, la normativa mexicana NOM-127 de calidad de aguas), aunque la EPA (*Environmental Protection Agency*), recomienda valores inferiores a los 500 ppm.

En este caso no se llegará hasta la potabilización, sino que tan sólo se eliminarán sales, siendo necesaria una correcta potabilización posterior.

El caso práctico propuesto constará de dos partes:

- En la primera se definirá una instalación que cumpla con los objetivos propuestos (ROSA funcionando en modo continuo). Esta parte se muestra en el apartado 6.1.

- En la segunda se evaluará el comportamiento de dicha instalación, fijada en el apartado 6.1, frente a variaciones en la temperatura y en el factor de flujo (ROSA funcionando en modo discontinuo). Esta parte se muestra en el apartado 6.2.

6.1 Diseño del Sistema

6.1.1 Introducción de datos de la alimentación

Una vez ejecutado el programa ROSA, el usuario se encontrará frente a la pestaña de "1 Proyect Information" vacía. Como se explicó en el apartado 5.2.1, en esta pestaña se deben introducir la información básica del proyecto junto con las preferencias personales del usuario. Esta ventana rellenada presenta el aspecto que se muestra en la figura 6.1:

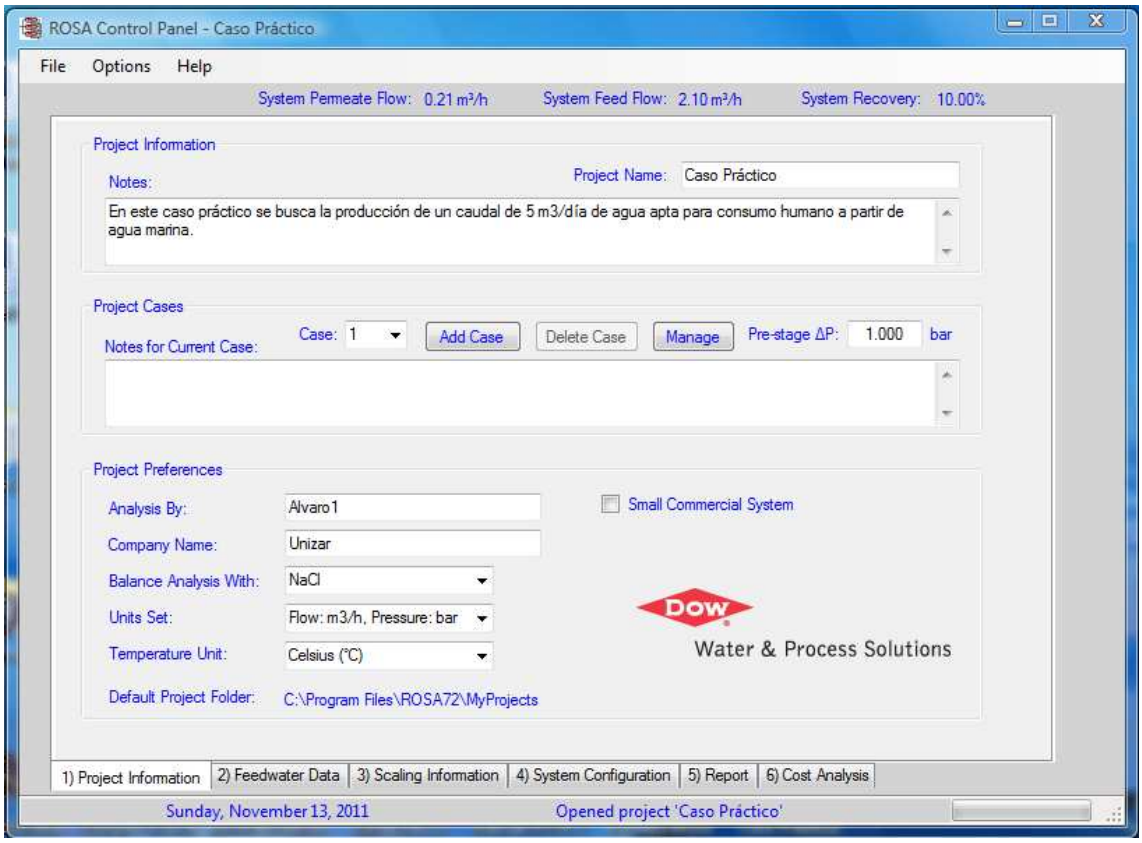


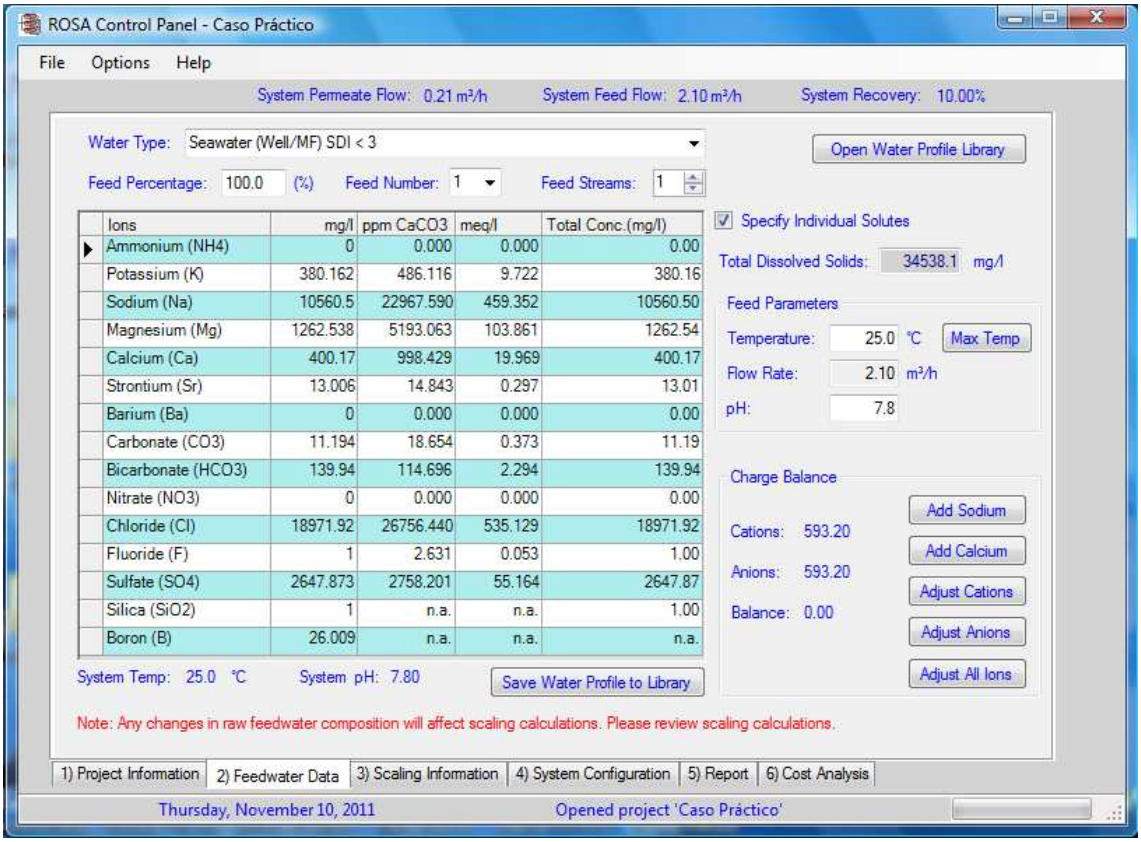
Figura 6.1: Ventana rellenada de "1) Proyect Information".

Como se observa en la figura 6.1, el proyecto constará de un único caso. La alimentación se introduce a 1 bar, y todas las preferencias del proyecto se han mantenido iguales a las mostradas a lo largo del manual (balance químico con NaCl, temperaturas en ºC, presiones en bar y caudales en m^3/h).

Se ha decidido no marcar la casilla de “Small Commercial System” para disponer del catálogo completo de elementos de FilmTec, aunque debido a la poca producción requerida (5 m^3/día) dichos elementos serán de pequeño tamaño.

Una vez rellenada la pestaña de “1) Proyect Information” el usuario deberá pulsar la segunda pestaña principal, “Feedwater Data”, explicada detalladamente en el apartado 5.2.2 de este manual.

En esta ventana, el usuario deberá introducir los datos del agua de alimentación. La ventana rellenada debería presentar el aspecto mostrado en la figura 6.2:



Ions	mg/l	ppm CaCO3	meq/l	Total Conc.(mg/l)
Ammonium (NH4)	0	0.000	0.000	0.00
Potassium (K)	380.162	486.116	9.722	380.16
Sodium (Na)	10560.5	22967.590	459.352	10560.50
Magnesium (Mg)	1262.538	5193.063	103.861	1262.54
Calcium (Ca)	400.17	998.429	19.969	400.17
Strontium (Sr)	13.006	14.843	0.297	13.01
Barium (Ba)	0	0.000	0.000	0.00
Carbonate (CO3)	11.194	18.654	0.373	11.19
Bicarbonate (HCO3)	139.94	114.696	2.294	139.94
Nitrate (NO3)	0	0.000	0.000	0.00
Chloride (Cl)	18971.92	26756.440	535.129	18971.92
Fluoride (F)	1	2.631	0.053	1.00
Sulfate (SO4)	2647.873	2758.201	55.164	2647.87
Silica (SiO2)	1	n.a.	n.a.	1.00
Boron (B)	26.009	n.a.	n.a.	n.a.

Figura 6.2: Ventana rellenada de “2) Feedwater Data”.

A continuación se explicará brevemente cómo se ha rellenado la ventana de “Feedwater Data”.

En primer lugar, puesto que se desea especificar una composición concreta, el usuario deberá marcar la casilla “Specify Individual Solutes”. Tras esto, podrá modificar a su antojo la tabla de composiciones, en la que deberá introducir una a una las concentraciones de cada uno de los compuestos presentes en la alimentación del “agua marina media” (que se muestran en la tabla 6.1).

El siguiente paso será introducir la temperatura y pH del agua de alimentación, en este caso, 25 ºC y 7,8. Se supondrá que la temperatura será constante, y no subirá por encima de 25 ºC, por lo que no se utilizará la opción de “Max Temperature”.

Seguramente el balance iónico no valdrá cero, sino que habrá presentes más iones de un tipo que del otro. Para solucionarlo, el usuario deberá pulsar el botón “Adjust All Ions”. Esto modificará ligeramente las concentraciones introducidas, pero de un modo tan leve que no tendrá efecto alguno sobre el sistema.

Una vez la tabla de composiciones se encuentre correctamente rellenada, el siguiente paso será seleccionar el tipo de agua introducida como alimentación. En el caso que se está resolviendo, esta es agua marina captada en un pozo, con un SDI menor que 3, por lo que en “Water Type” se seleccionará la opción “Seawater (Well/MF) SDI<3”.

Con esto se habrá completado de rellenar la ventana de “Feedwater Data”. En este punto, el usuario habrá terminado de definir los datos referentes al agua de alimentación, y deberá pulsar la tercera pestaña principal: “Scaling Information”.

6.1.2 Corrección de la Alimentación

En la ventana de “3) Scaling Information” el usuario deberá especificar si desea realizar alguna corrección a la alimentación antes de que ésta sea introducida en los módulos de ósmosis inversa.

El usuario se encontrará con la ventana mostrada en la figura 6.3:

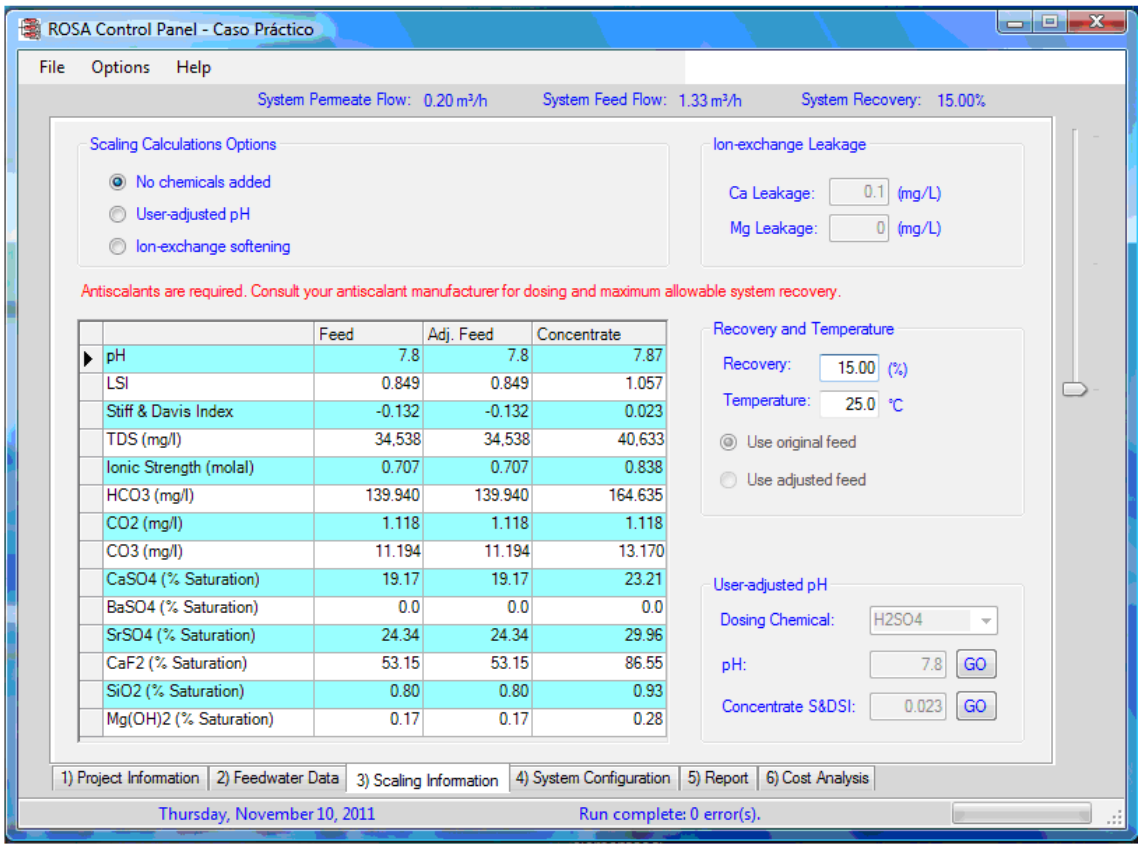


Figura 6.3: Ventana inicial de “3) Scaling Information”

Como se observa en la figura 6.3, el programa avisa que, en caso de utilizar un 15% de recuperación (“Recovery”), será necesaria la adición de anti-incrustantes. Para comprobar dónde está el problema, el usuario deberá fijarse en la columna llamada “Concentrate” de la tabla de parámetros.

En esta tabla se observa que el problema puede deberse al $CaCO_3$, ya que el valor del S&DSI en la corriente de rechazo resulta positivo. Esto significa que será necesaria una reducción de pH para que el agua que circule por el

concentrado no presente condiciones incrustantes. Así pues, una posible solución del problema sería ajustar el pH mediante la adición de un ácido.

No obstante, en la corriente de rechazo también se encuentran parámetros que indican la posible precipitación de otras sales a la menor variación del sistema: CaF_2 (86,55% Saturación), $SrSO_4$ (29,96% Saturación) o $CaSO_4$ (23,21% Saturación). Para reducir estos parámetros, lo más indicado sería un pretratamiento con resinas de intercambio iónico.

Así pues, el usuario tiene tres opciones:

-Realizar un tratamiento previo con resinas de intercambio iónico, evitando así la posible precipitación de todo tipo de sales.

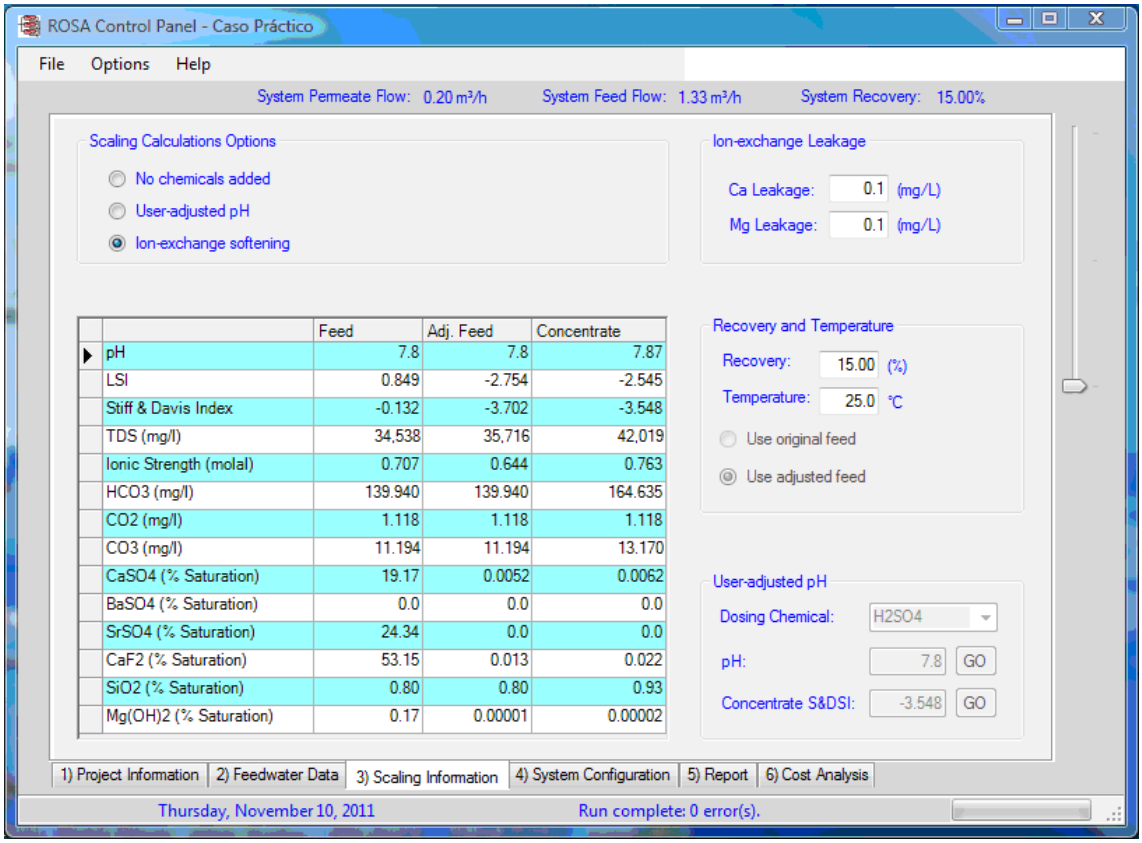
-Realizar un tratamiento previo de ajuste del pH, evitando la precipitación de $CaCO_3$ pero sin afectar a la deposición de CaF_2, $SrSO_4$ o $CaSO_4$.

-No realizar ningún tipo de tratamiento previo. Esto conlleva la adición de anti-incrustantes, opción no incluida en este programa.

Finalmente se ha decidido someter al agua de alimentación a un tratamiento previo con resinas de intercambio iónico, con el fin de reducir su dureza y evitar la posible precipitación de todo tipo de sales.

Así pues, se seleccionará la casilla “Ion-exchange softening”, y se indicará al programa que reduzca las concentraciones de Ca^{2+} y Mg^{2+} a valores de 0,1 mg/l.

En la figura 6.4 se muestra la ventana de “Scaling Information” tras realizar estos ajustes.



	Feed	Adj. Feed	Concentrate
pH	7.8	7.8	7.87
LSI	0.849	-2.754	-2.545
Stiff & Davis Index	-0.132	-3.702	-3.548
TDS (mg/l)	34,538	35,716	42,019
Ionic Strength (molal)	0.707	0.644	0.763
HCO3 (mg/l)	139.940	139.940	164.635
CO2 (mg/l)	1.118	1.118	1.118
CO3 (mg/l)	11.194	11.194	13.170
CaSO4 (% Saturation)	19.17	0.0052	0.0062
BaSO4 (% Saturation)	0.0	0.0	0.0
SrSO4 (% Saturation)	24.34	0.0	0.0
CaF2 (% Saturation)	53.15	0.013	0.022
SiO2 (% Saturation)	0.80	0.80	0.93
Mg(OH)2 (% Saturation)	0.17	0.00001	0.00002

Figura 6.4: Ventana rellenada de "3) Scaling Information"

Como se observa en la figura 6.4, tras realizar el ajuste mediante intercambio iónico, todos los parámetros referidos a la precipitación de sales disminuyen sustancialmente, desapareciendo el aviso que indicaba condiciones incrustantes.

Cuando la ventana de "3) Scaling Information" muestre el aspecto de la figura 6.4, el usuario deberá pulsar la pestaña "4) System Configuration" para definir la configuración del sistema.

6.1.3 Configuración del Sistema

6.1.3.1 Pautas de Dow Chemical para el diseño de sistemas de OI

En este punto, el usuario deberá definir el sistema que va a utilizar en su proyecto de ósmosis inversa.

En este manual no se pretende diseñar el sistema más eficiente posible, sino que se limita a mostrar el manejo del programa ROSA, de forma que los ejemplos que aquí se muestran serán mejorables en términos de rendimiento de la instalación.

Aun con todo, se seguirán las especificaciones generales dadas por Dow Chemical para el diseño de sistemas de ósmosis inversa ("Membrane System Design Guidelines"). Estas pautas se muestran en el siguiente enlace:

http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_0036/0901b803800362e3.pdf?filepath=/609-02054.pdf&fromPage=GetDoc

Puesto que en este caso práctico se tratan pequeños caudales, se ha decidido desechar las membranas de 8" de diámetro. Así pues, la parte del "Membrane System Design Guidelines" que interesa es la que se presenta en la figura 6.5.

Feed source	RO permeate	Well water	Softened Municipal	Surface	Wastewater (filtered tertiary effluent)		Seawater	
					MF[1]	Conventional	Well or MF[1]	Open intake
Feed silt density index	SDI < 1	SDI < 3	SDI < 3	SDI < 5	SDI < 3	SDI < 5	SDI < 3	SDI < 5
Typical target flux, gfd (l/m²h)	22 (37)	18 (30)	16 (27)	14 (24)	13 (22)	11 (19)	13 (22)	11 (19)
Maximum element recovery %	30	19	17	15	14	12	15	13
Element diameter	**Maximum permeate flow rate, gpd (m³/d)**							
2.5-inch	800 (3.0)	700 (2.6)	600 (2.3)	500 (1.9)	500 (1.9)	400 (1.5)	700 (2.6)	600 (2.3)
4.0-inch	2,300 (8.7)	1,900 (7.2)	1,700 (6.4)	1,500 (5.7)	1,400 (5.3)	1,200 (4.5)	1,800 (6.8)	1,500 (5.7)
Element type	**Minimum concentrate flow rate, gpm (m³/h)[1]**							
2.5-inch diameter	0.7 (0.16)	1 (0.2)	1 (0.2)	1 (0.2)	1 (0.2)	1 (0.2)	1 (0.2)	1 (0.2)
4.0-inch diameter (except full-fits)	2 (0.5)	3 (0.7)	3 (0.7)	3 (0.7)	4 (0.9)	5 (1.1)	3 (0.7)	4 (0.9)
Full-fit 4040	6 (1.4)	6 (1.4)	6 (1.4)	6 (1.4)	6 (1.4)	6 (1.4)	NA	NA

Figura 6.5: "Membrane System Design Guidelines" para elementos de tamaño medio

La tabla mostrada en la figura anterior corresponde a la dedicada a elementos de tamaño medio, es decir, de diámetros comprendidos entre 2,5 y 4 pulgadas.

En la figura 6.5 se ha recuadrado en rojo la columna que interesa para el caso práctico actual: alimentación de agua de mar captada desde un pozo, con un SDI menor a 3.

En “Typical target flux” se indica que un flujo específico común por elemento es de 13 gfd (22 lmh), es decir, se deberá diseñar la instalación teniendo en cuenta que por cada elemento tendrán que permear unos 22 l/h por cada m^2 de área activa.

También se indica que el porcentaje recomendado máximo de recuperación por elemento es del 15%, ya que porcentajes mayores conducirán a rápidos ensuciamientos de las membranas de la instalación.

Asimismo, a la hora de diseñar los caudales, hay que tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Si se instalan elementos de 2,5” de diámetro, el caudal máximo de permeado será de 2,6 m^3/dia, y el caudal mínimo de concentrado, de 0,2 m^3/h.

- Si se instalan elementos de 4” de diámetro, el caudal máximo de permeado será de 6,8 m^3/día, y el caudal mínimo de concentrado, de 0,7 m^3/h.

Así pues, a la hora de diseñar las configuraciones del sistema, el usuario deberá fijarse que estos parámetros no se alejen mucho de los recomendados.

6.1.3.2 Configuración del Caso Práctico

Debido al bajo caudal de permeado que se requiere (5 m^3/día ó 0,208 m^3/h), se ha decidido instalar elementos de 2,5” de diámetro, por lo que habrá que tener en cuenta las siguientes recomendaciones de diseño:

-Flujo específico medio (en toda la instalación) de alrededor de 22 lmh.
-Caudal máximo de permeado de 2,6 m^3/dia (0,108 m^3/h) por cada elemento que presente la instalación.
-Caudal mínimo de concentrado de 0,2 m^3/h por cada elemento de la instalación.
-Porcentaje de recuperación del 15% en todo el sistema.

En primer lugar, se ha de decidir el número de pasos de la instalación. Puesto que en este caso no se requiere un permeado de gran pureza (TDS<500 ppm), no será necesario acarrear con el costo que supone la instalación de un segundo paso, por lo que se instalará un único paso.

A continuación se elegirá un producto o elemento para la instalación. Este elemento deberá presentar un diámetro de 2,5” y ser apto para la desalación de agua marina. Tras consultar el listado de elementos de FilmTec (véase Anexo II), se decide seleccionar el elemento SW30-2540, ya que es el único que cumple con estas características.

Una vez seleccionado el tipo de producto que se va a utilizar, será necesario determinar el número de etapas, de recipientes de presión y de elementos de los que constará el paso. Esta parte es la más subjetiva, ya que distintas configuraciones pueden llegar a resultados muy similares.

Para hallar una configuración válida será necesario fijar en la calculadora de flujos los parámetros deseados, y evaluar para cada configuración los resultados obtenidos en el informe de la instalación, observando con especial atención los posibles avisos que pueda mostrar el programa en los apartados “Advertencias de Diseño” y “Advertencias de Solubilidad” (consúltese los apartados 5.2.4 y 5.2.5).

Tras realizar este proceso, se ha decidido instalar una única etapa, consistente en dos recipientes de presión, dentro de los cuales se sitúan dos elementos de tipo SW30-2540.

En este punto, la ventana "4) System Configuration" presenta el aspecto mostrado en la figura 6.6.

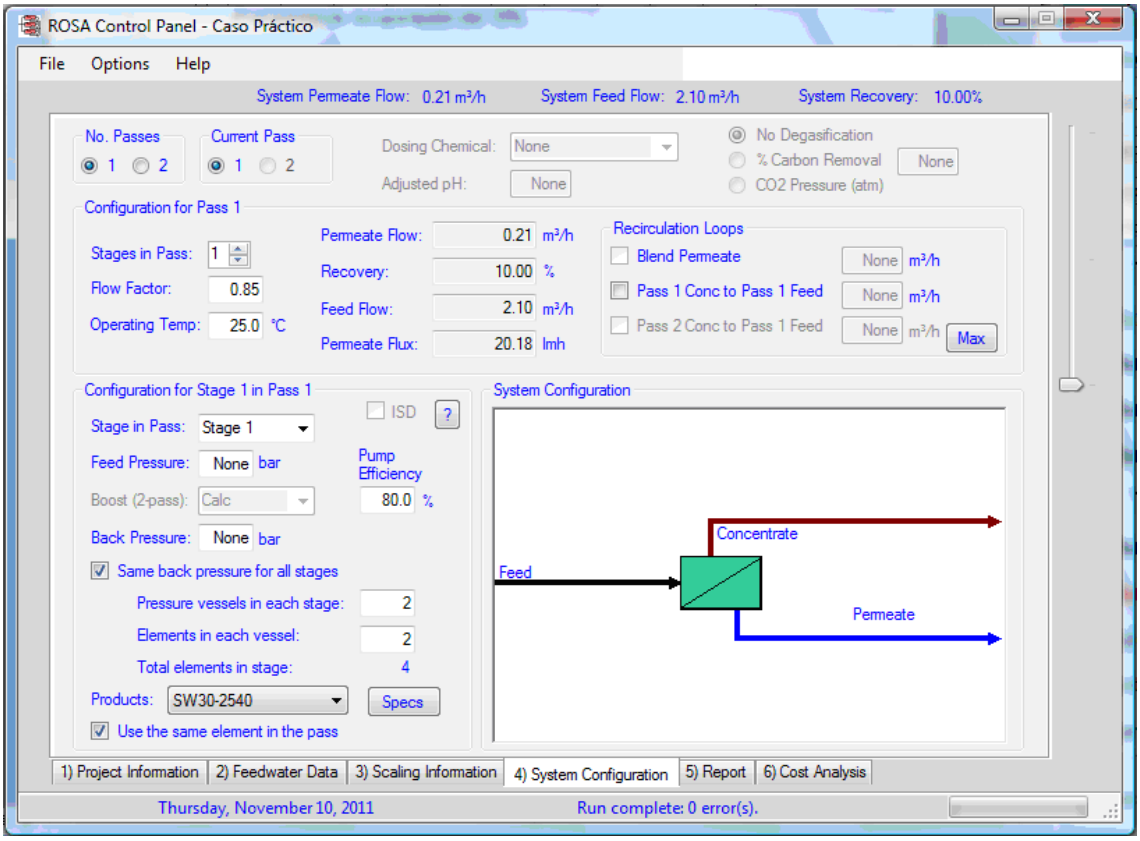


Figura 6.6: Ventana de "4) System Configuration"

Como se observa en la figura 6.6, con la configuración indicada se consiguen los siguientes parámetros:

- Flujo de permeado global de 0,21 m^3/h, fijado (el máximo recomendado es de 0,108 x 4 = 0,432 m^3/h).

- "Recovery" del 10%, fijado (el máximo recomendado es del 15%).

- Flujo de alimentación de 2,10 m^3/h. Tal y como indica el informe en "Advertencias de Diseño", el máximo permitido por el elemento SW30-2540 es de 1,36 m^3/h, pero al introducir dos recipientes de presión, este caudal se divide, siendo posible su introducción a la instalación.

- Flujo específico de 20,18 lmh (el recomendado es de 22 lmh).

Como se puede observar, estos parámetros se acercan a los recomendados en el "Membrane System Design Guidelines", por lo que el sistema diseñado conseguirá un rendimiento aceptable.

Se ha decidido introducir un porcentaje de recuperación bajo (10%) debido a que el agua de alimentación presenta gran cantidad de sales, por lo que un elevado "Recovery" provocaría un ensuciamiento muy rápido de las membranas, lo que conllevaría grandes gastos de operación ligados a la limpieza y sustitución de membranas.

El factor de flujo se ha fijado en 0,85, valor habitual en una instalación una vez que ésta lleva cierto tiempo en funcionamiento. Al arranque de la instalación, se puede suponer un factor de flujo de 1, ya que todos los elementos son nuevos y se encuentran en perfectas condiciones. En cambio, transcurridos unos 3 años de operación, el factor de flujo habrá descendido hasta aproximadamente 0,70 (véase tabla 4.1 del apartado 4.2.3.1.2). Se ha decidido escoger un factor de flujo intermedio entre estos dos valores extremos.

Se ha preferido no efectuar recirculaciones en la instalación, ya que:

-Una recirculación que uniese la alimentación con el permeado (opción "Blend") disminuiría en gran medida la calidad del producto, aumentando su TDS.

-Una recirculación del concentrado ("Pass 1 Conc to Pass 1 Feed) provocaría una gran salinidad en el sistema, lo que acarrearía:

-Mayor presión osmótica en los compartimentos de alta presión, que ocasionan mayores costes de bombeo.

-Mayor tasa de ensuciamiento de las membranas

-Aumento de la posibilidad de precipitaciones de sólidos, que provocarían atascamientos.

6.1.4 Informe del Sistema

Una vez el usuario ha terminado de configurar el sistema, el siguiente paso será la visualización del informe detallado correspondiente a su funcionamiento. Este informe se muestra en la figura 6.7:

Detail Report

Información del Proyecto: En este caso práctico se busca la producción de un caudal de 5 m3 /día de agua apta para consumo humano a partir de agua marina.

Detalles del Sistema

Caudal de Alimentación a la 1ª Etapa	2.10 m³/h	Caudal de Permeado Paso 1	0.21 m³/h	Presión Osmótica:	
Caudal de Agua Bruta al Sistema	2.10 m³/h	Conversión Paso 1	10.00 %	Alimentación	26.39 bar
Presión de Alimentación	44.08 bar	Temperatura de Alimentación	25.0 C	Concentrado	29.39 bar
Factor de flujo	0.85	STD Alimentación	35715.99 mg/l	Media	27.89 bar
Dosificación Química	Ninguno	Número de Elementos	4	NDP media	14.98 bar
Área Activa Total	10.40 M²	Flujo específico medio Paso 1	20.18 lmh	Potencia	3.21 kW
Clasificación del Agua:Agua de Mar (Pozo/MF) SDI < 3				Energía Específica	15.31 kWh/m³

Etapa	Elemento	Nº Cajas de presión	Nº Elementos	Caudal de Alimentación (m³/h)	Presión de Alimentación (bar)	Caudal de Recirculación (m³/h)	Caudal de concentrado (m³/h)	Presión del concentrado (bar)	Caudal de Permeado (m³/h)	Flujo específico medio (lmh)	Presión de Permeado (bar)	Presión Booster (bar)	STD Permeado (mg/l)
1	SW30-2540	2	2	2.10	43.08	0.00	1.89	42.05	0.21	20.18	0.00	0.00	401.85

Corrientes Paso (mg/l como ión)					
Nombre	Alimentación	Alimentación ajustada	Concentrado	Permeado	
			Etapa 1	Etapa 1	Permeado Total
NH4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	380.16	380.16	421.67	6.57	6.57
Na	10560.50	13413.87	14888.49	141.26	141.26
Mg	1262.54	0.10	0.11	0.00	0.00
Ca	400.17	0.10	0.11	0.00	0.00
Sr	13.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	11.19	11.19	12.62	0.00	0.00
HCO3	139.94	139.94	154.68	5.12	5.12
NO3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	18971.92	18971.97	21055.73	216.65	216.65
F	1.00	1.00	1.11	0.02	0.02
SO4	2647.87	2647.87	2941.44	5.52	5.52
SiO2	1.00	1.00	1.11	0.02	0.02
Boro	26.04	26.04	28.42	4.67	4.67
CO2	1.12	1.15	1.22	0.83	0.83
STD	34538.08	35715.99	39639.41	401.85	401.85
pH	7.80	7.80	7.81	6.92	6.92

Advertencias de Diseño

-Ninguno-

Advertencias de Solubilidad

-Ninguno-

Detalles Etapa

Etapa 1	Elemento	Conversión	Caudal de Permeado (m³/h)	STD Permeado (mg/l)	Caudal de Alimentación (m³/h)	STD Alimentación (mg/l)	Presión de Alimentación (bar)
	1	0.05	0.06	367.75	1.05	35715.99	43.08
	2	0.05	0.05	441.31	0.99	37719.39	42.55

Cálculo de Precipitaciones

	Agua Bruta	Alimentación ajustada	Concentrado
pH	7.80	7.80	7.81
Índice de Saturación Langelier	0.85	-2.75	-2.66
Índice de estabilidad Stiff & Davis	-0.13	-3.70	-3.64
Fuerza Iónica (Molal)	0.71	0.64	0.72
STD (mg/l)	34538.08	35715.99	39639.41
HCO3	139.94	139.94	154.68
CO2	1.12	1.15	1.22
CO3	11.19	11.19	12.62
CaSO4 (% Saturación)	19.17	0.00	0.01
BaSO4 (% Saturación)	0.00	0.00	0.00
SrSO4 (% Saturación)	24.34	0.00	0.00
CaF2 (% Saturación)	53.15	0.00	0.02
SiO2 (% Saturación)	0.80	0.00	0.91
Mg(OH)2 (% Saturación)	0.17	0.00	0.00

Para hacer el balance:0.00 mg/l Naañadido a la alimentación

Print Print Setup Close Overview Report

*Figura 6.7 Informe de*tallado del caso práctico.

Como se observa en el informe mostrado en la figura 6.7, mediante la instalación proyectada se obtiene un caudal de permeado de 0,21 m^3/h (5,04 m^3/día), con un TDS de 401,85 ppm, mucho menor que los 1000 ppm máximos fijados por la normativa mexicana NOM-127, y menor que los 500 ppm recomendados por la EPA.

Además del TDS, hay que tener en cuenta otros parámetros para evaluar la calidad del agua. Según la normativa mexicana NOM-127 de calidad de aguas:

-La concentración de cloruros no debe exceder las 250 ppm, por lo que los 216,65 mg/l del producto se encuentran dentro del límite legal.

-Los iones sodio no deben sobrepasar las 200 ppm, por lo que el permeado con sus 141,26 mg/l también cumple este parámetro.

El resto de parámetros indicados (dureza total, concentración de sulfatos, etc.) quedan muy por encima de los que presenta el permeado, que cumple holgadamente con la citada normativa.

Así pues, la instalación proyectada cumplirá los objetivos de diseño a costa de un consumo de 15,31 kWh/m^3, o lo que es lo mismo, 77,16 kWh/día.

6.1.5 Análisis de Costes

Tras consultar el informe del sistema, el último paso consiste en evaluar los costes de la instalación proyectada mediante la herramienta incluida en la sexta pestaña principal, “Cost Analysis”, que se muestra en la figura 6.8.

	A	B
1	**Project Identification**	
2	Project Name	Caso Práctico
3	Case #	1
4	**Project Overview**	
5	Unit set for economic evaluation	m³-m³/h-bar
6	System water production (m³/h)	0.21
7	System recovery (%)	10.00
8	**Project Economic Variables**	
9	Project Life (years)	10
10	Interest rate (%)	10
11	Power cost ($kWh)	0.08
12	**Pass 1**	
13	**Projection Results**	
14	Pass 1 permeate production (m³/h)	0.21
15	Pass 1 feed pressure (bar)	44.08
16	Pass 1 concentrate pressure (bar)	42.05
17	Pass 1 recovery (%)	10.00
18	Pass 1 energy recovery efficiency (%)	0 %
19	**Capital Expense**	
20	Pass 1 pressure vessels	2
21	Pressure vessel cost ($/vessel)	472
22	Pass 1 capital for pressure vessels	$944.00
23	Product	SW30-2540 (2)
24	Pass 1 total elements	4
25	Element cost ($/element)	$308.00
26	Pass 1 capital for elements ($)	$1232.00
27	Pass 1 capital ($)	$2176.00
28	Pass 1 capital($/m³)	$0.12
29	**Operating Expense**	
30	**Power**	
31	Pass 1 pumping power (kW)	3.21
32	Pass 1 pump specific energy (kWh/m³)	15.31
33	Brine energy recovery (kWh/m³)	0.00
34	Pass 1 net energy consumption (KWh/m³)	15.31
35	Pass 1 net energy cost ($/year)	$135.18
36	Energy expense NPV ($)	830.62
37	Pass 1 energy expense ($/m³)	$1.22
38	**Membrane replacement cost**	
39	Pass 1 replacement rate (%/year)	13
40	Replacement price ($/element)	$308.00
41	Pass 1 replacement cost for elements ($/year)	$160.16
42	Pass 1 replacement membrane NPV ($)	$984.11
43	Pass 1 membrane replacement expense ($/m³)	$0.09
44	**Operating expense subtotal**	
45	Pass 1 operating expense NPV ($)	$1814.74
46	Pass 1 operating expense per m³	$1.31
47	**Pass 1 Total**	
48	Pass 1 cost NPV ($)	$1232.00
49	Life Cycle Cost ($/m³)	$0.07
50	**Total System**	
51	Capital	$2176.00
52	Operating expense NPV ($)	$1814.74
53	Cost of water NPV ($/m³)	$0.22

Figura 6.8: Análisis de costes del caso práctico.

En la hoja de cálculo del análisis de costes, explicada en el apartado 5.2.6 de este manual, el usuario solamente debe rellenar las casillas de color amarillo, que se describirán una a una:

-“”Proyect Life (years)”: Se ha introducido una vida útil de la instalación de 10 años, periodo común para este tipo de proyectos.

-“Interest Rate (%)”: Se ha introducido una tasa de interés del 10%, que se aplicará a la hora de calcular costes mediante el método NPV.

-“Power cost ($kWh)”: Se ha introducido un coste de 0,08$ por cada kWh de energía.

-“Pass 1 energy recovery efficiency (%)”: Al tratarse de una instalación de pequeñas dimensiones, no se instalará un aparato recuperador de energía en el primer paso, por lo que el usuario deberá introducir una eficiencia del 0%.

-“Pressure vessel cost ($/vessel)”: En esta casilla el usuario debe introducir el precio de cada recipiente de presión de que conste su instalación. Se ha introducido el precio encontrado en “Boundless Outfitters” para un recipiente de presión para membranas de 2,5x40” y con una presión nominal de operación de 800 psi (55,2 bar).

-“Element cost ($/element)”: En esta casilla el usuario debe introducir el precio de cada elemento. Se ha introducido el precio encontrado en “Excel Water Technologies” para el elemento SW30-2540.

-“Pass 1 replacement rate (%/year)”: En esta casilla se debe introducir el porcentaje de elementos que son sustituidos a lo largo de un año. Se ha mantenido en un 13%, porcentaje habitual en este tipo de aplicaciones.

-"Replacement price ($/element)": En esta casilla el usuario debe introducir el precio en dólares que cuesta sustituir cada elemento. Para ello se ha decidido ignorar los costes debidos a mano de obra

Una vez que el usuario haya rellenado todas las casillas de color amarillo, el programa calculará automáticamente el resto de campos, presentando el análisis de costes completo que se mostró en la figura 6.8.

De este análisis de costes se puede resaltar que la instalación requerirá un desembolso inicial de 2176$ (1601 €), con unos gastos de operación de 1,31$ (0,96 €) por cada m^3 de producto producido, es decir, 4,84 €/día.

Considerando los 10 años de funcionamiento de la planta, si se supone un precio del agua producida de aproximadamente 2 €/m^3 (precio de Palma de Mallorca en 2005):

$$1601€ + 4,84\frac{€}{día}\cdot 365\frac{días}{año}\cdot 10años = 19267€$$

$$\frac{19267€}{2€/m^3} = 9634m^3$$

Puesto que el los 10 años de funcionamiento del proyecto se pretenden generar $5,04\frac{m^3}{dia}\cdot 365\frac{dias}{año}\cdot 10años = 18396m^3$

El proyecto se rentabilizaría en $\frac{9634m^3}{18396m^3}\cdot 10años = 5,24años$

Es decir, que a partir de 5 años y 3 meses tras la puesta en marcha de la instalación, ésta comenzará a reportar beneficios, que ascenderán a:

$$18396m^3\cdot 2\frac{€}{m^3} - 19267€ = 17525€$$

6.2 Estudio del comportamiento del sistema diseñado frente a la temperatura y al factor de flujo

En este apartado se evaluará el comportamiento de la instalación diseñada en el apartado 6.1 frente a variaciones en la temperatura de trabajo y en el factor de flujo. Para realizar este estudio será necesario activar el modo de trabajo discontinuo del programa ROSA.

6.2.1 Variaciones de temperatura con factor de flujo fijo.

Aquí se estudiará cómo afecta la temperatura de trabajo a parámetros de interés dentro de la instalación, como la presión de alimentación o los TDS del permeado.

Dentro del proyecto definido en el apartado 6.1, el usuario deberá modificar la ventana "Batch Processing" (descrita en el apartado 5.1.2.1), de forma que presente el aspecto que se muestra en la figura 6.9.

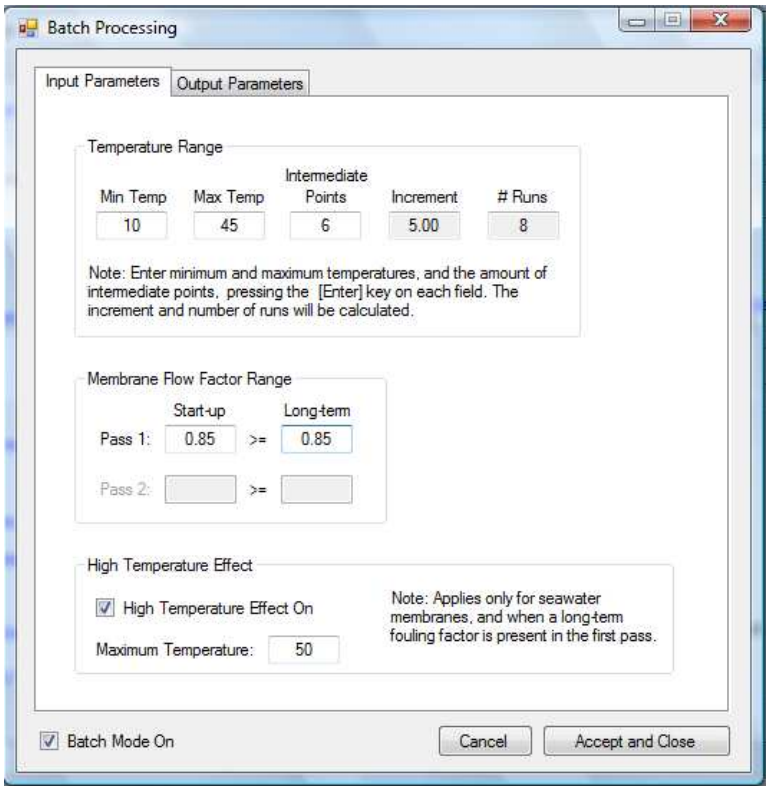


Figura 6.9: Ventana rellenada de "Batch Processing; Input Parameters".

La figura 6.9 corresponde a la pestaña “Input Parameters” de la ventana “Batch Processing”, donde el usuario introduce los datos referentes a las variables de entrada (temperatura y factor de flujo).

Como se puede observar, en esta pestaña se ha decidido evaluar temperaturas comprendidas entre 10 ºC y 45 ºC. Se ha indicado al programa que introduzca 6 puntos intermedios entre esos extremos, de forma que se calcularán 8 simulaciones para 8 temperaturas distintas (con saltos de 5 ºC entre cada punto).

Puesto que en este apartado únicamente se evalúan los efectos de la temperatura, se mantendrá el factor de flujo constante en 0,85.

En la parte de “High Temperature Effect” habrá que tener en cuenta que, puesto que se está trabajando con agua marina, podría producirse un deterioro de la membrana a elevadas temperaturas, especialmente cuando el factor de flujo del primer paso sea reducido. Se ha decidido introducir como temperatura máxima 50 ºC, que podrían corresponder a un pico de temperatura que se diera en la instalación.

Es de vital importancia que se marque la casilla de “Batch Mode On”, ya que en caso contrario el programa seguirá funcionando en modo continuo, y todos los cambios introducidos no se verán reflejados.

Una vez que la pestaña de “Input Parameters” muestre el aspecto de la figura 6.9, el usuario deberá especificar sus preferencias respecto a los parámetros de salida. Para ello tendrá que clicar sobre la pestaña de “Output Parameters”, que se muestra en la figura 6.10.

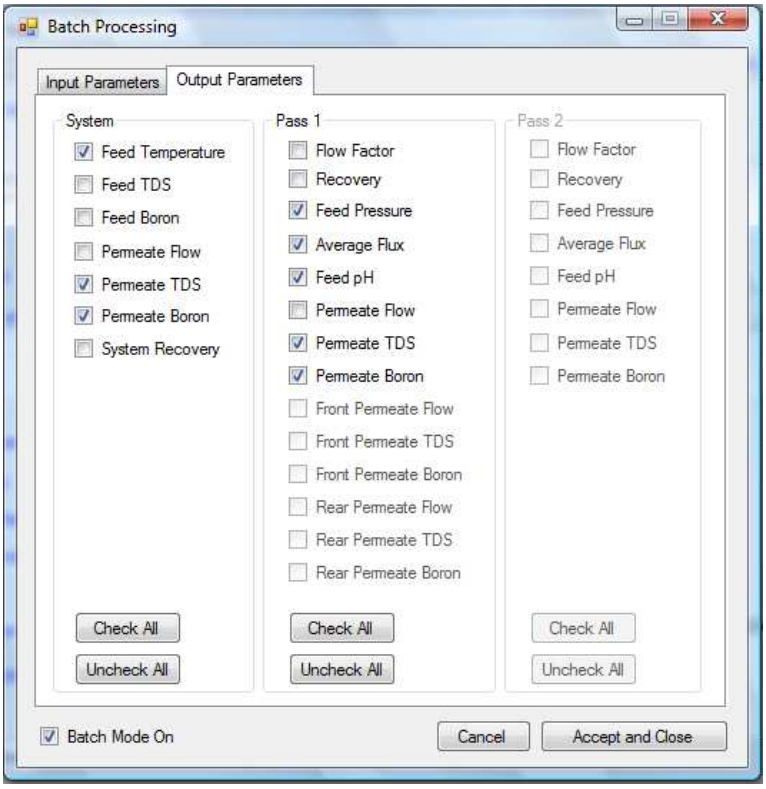
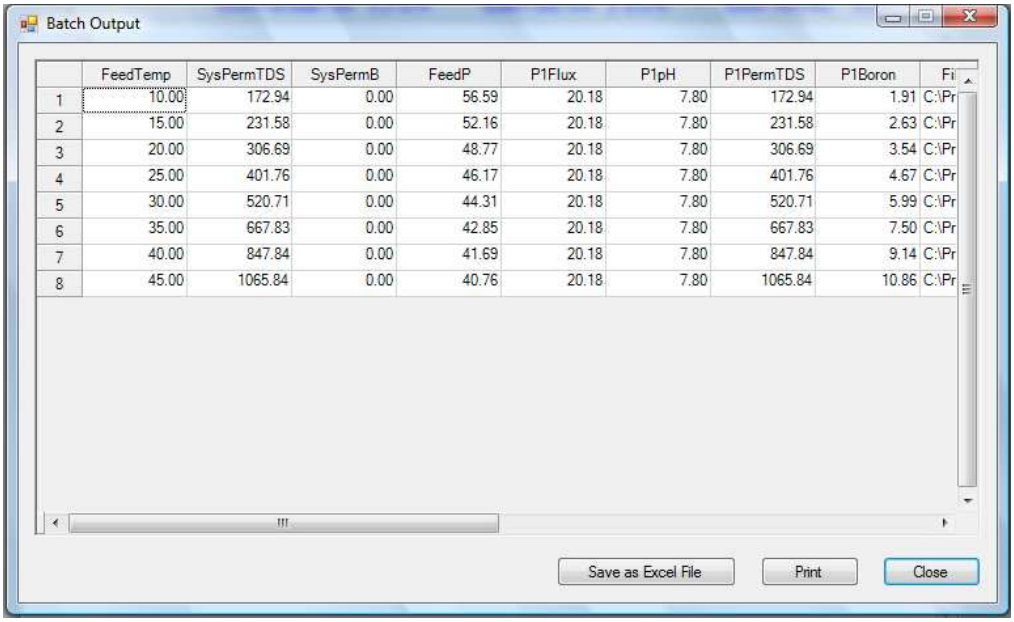


Figura 6.10: Ventana rellenada de "Batch Processing; Output Parameters".

En esta parte dedicada a los parámetros de salida, el usuario debe marcar aquellos que desea que aparezcan en la tabla de simulaciones. En la figura 6.10 se han desactivado todos aquellos parámetros que se encuentran fijados por el sistema (flujos de permeado, porcentajes de recuperación, composición de la alimentación, etc.) y que por tanto no van a variar al cambiar la temperatura de alimentación.

Una vez la ventana de "Batch Processing" presente el aspecto mostrado en las figuras 6.9 (Input Parameters) y 6.10 (Output Parameters), el usuario deberá, sin modificar ningún aspecto del proyecto creado en el apartado 6.1, clicar sobre la pestaña principal "5) Report".

Al entrar en "Report", el programa ejecutará los cálculos de las 8 simulaciones, presentando sus resultados en la tabla de "Batch Output", que se muestra en la figura 6.11.



Batch Output

	FeedTemp	SysPermTDS	SysPermB	FeedP	P1Flux	P1pH	P1PermTDS	P1Boron	Fi
1	10.00	172.94	0.00	56.59	20.18	7.80	172.94	1.91	C:\Pr
2	15.00	231.58	0.00	52.16	20.18	7.80	231.58	2.63	C:\Pr
3	20.00	306.69	0.00	48.77	20.18	7.80	306.69	3.54	C:\Pr
4	25.00	401.76	0.00	46.17	20.18	7.80	401.76	4.67	C:\Pr
5	30.00	520.71	0.00	44.31	20.18	7.80	520.71	5.99	C:\Pr
6	35.00	667.83	0.00	42.85	20.18	7.80	667.83	7.50	C:\Pr
7	40.00	847.84	0.00	41.69	20.18	7.80	847.84	9.14	C:\Pr
8	45.00	1065.84	0.00	40.76	20.18	7.80	1065.84	10.86	C:\Pr

Save as Excel File Print Close

Figura 6.11: Ventana de "Batch Output".

Como se observa en la figura 6.11, en la ventana de "Batch Output" se muestran los resultados de las 8 simulaciones: para cada temperatura de trabajo (FeedTemp) se indica el valor de un gran número de parámetros del sistema, concretamente de aquellos que fueron marcados en "Output Parameters".

De forma general, se puede observar que, al aumentar la temperatura:

- Aumentan los TDS del permeado, por lo que disminuye su calidad.
- Disminuye la presión de alimentación necesaria para conseguir los caudales especificados en la pestaña principal de "4) System Configuration".

Con esta información el usuario puede elaborar gráficas en las que se muestre el comportamiento de estos parámetros en función de la temperatura, tal y como se muestra en la figura 6.12.

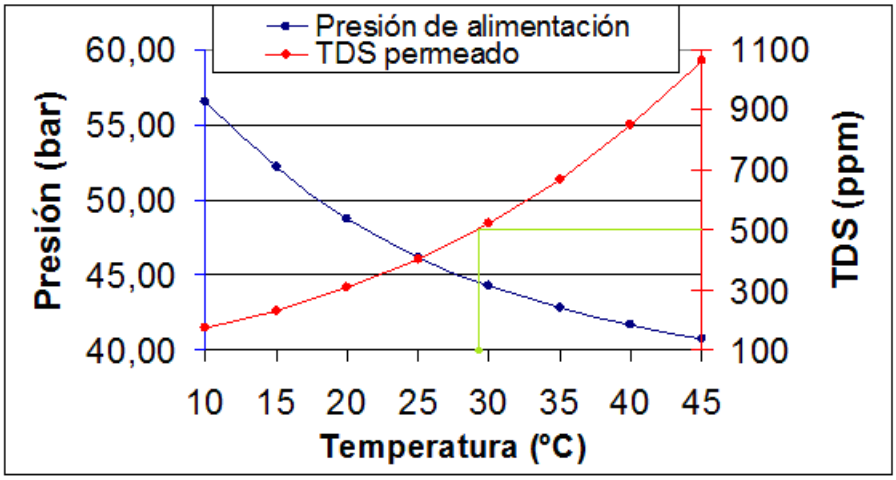


Figura 6.12: Variación de la presión y TDS con la temperatura.

Como se puede observar en la figura 6.12, si se desea reducir la presión de alimentación de una instalación ya diseñada, una opción sería aumentar la temperatura a la que entra su alimentación. Con esto se conseguiría disminuir los costes de bombeo a costa de:

-Gastos que supusiese el calentamiento de la corriente de entrada (se suponen pequeños comparados con el ahorro en el bombeo).

-Disminución de la calidad del producto producido.

Si se fija como mínimo un TDS de 500 ppm, se deduce del gráfico 6.12 que se podría aumentar la temperatura del agua de entrada de 25 a unos 29,1 ºC, logrando una reducción de la presión necesaria en la alimentación de 46,2 a unos 44,5 bar.

6.2.2. Variaciones de temperatura y de factor de flujo

En este apartado se estudiará cómo afecta a la instalación diseñada los cambios de temperatura junto al envejecimiento y ensuciamiento progresivo de las membranas. El factor de flujo, como se explicó en el apartado 4.2.3.1, es la variable de ROSA que engloba estas realidades que se dan en todas las instalaciones de ósmosis inversa.

Para realizar este estudio, hay que tener en cuenta que el modo discontinuo de ROSA está diseñado para evaluar cambios de temperatura, por lo que será obligatorio introducir una variación de este parámetro para que pueda realizar las simulaciones. Sin embargo, ahora también se podrán especificar los factores de flujo máximos y mínimos del sistema para cada temperatura, es decir, para cada temperatura de simulación se incluirán datos referidos a dos factores de flujo: el FF máximo y el FF mínimo.

Conforme la planta vaya tratando agua marina, las membranas se irán ensuciando y envejeciendo, de forma que el factor de flujo de la instalación descenderá desde el FF máximo (puesta en marcha del sistema con membranas limpias) hasta el FF mínimo (estimado tras tres años de operación).

Estos factores de flujo máximos y mínimos se pueden obtener en el apartado 4.2.3.1.2 de este manual. En este estudio se ha decidido evaluar el factor de flujo desde 1 hasta 0,70 (valor recomendado para $FF_{mínimo}$ según la tabla 4.1).

En la figura 6.13 se muestra la ventana de “Input Parameters” que se ha decidido especificar. Como se puede observar, presenta idénticas características que la figura 6.9, con la salvedad de que en este caso se ha decidido modificar el factor de flujo.

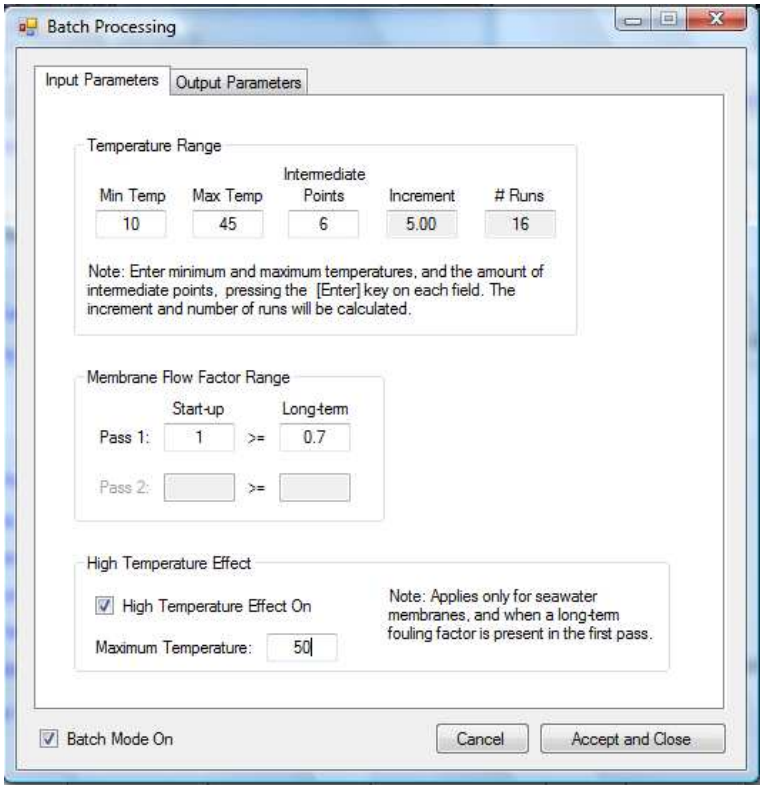


Figura 6.13: Ventana rellenada de "Batch Processing; Input Parameters".

Hay que notar que en este caso, puesto que para cada temperatura se evaluará la instalación para dos factores de flujo, el número de simulaciones ("#Runs") se multiplicará por dos.

Una vez rellenada la ventana de "Input Parameters" se procederá a marcar las variables dependientes de la ventana de "Output Parameters", de forma que quede como se muestra en la figura 6.14. En este caso hay que tener en cuenta que en la tabla de simulaciones deberá aparecer el factor de flujo, ya que no será constante.

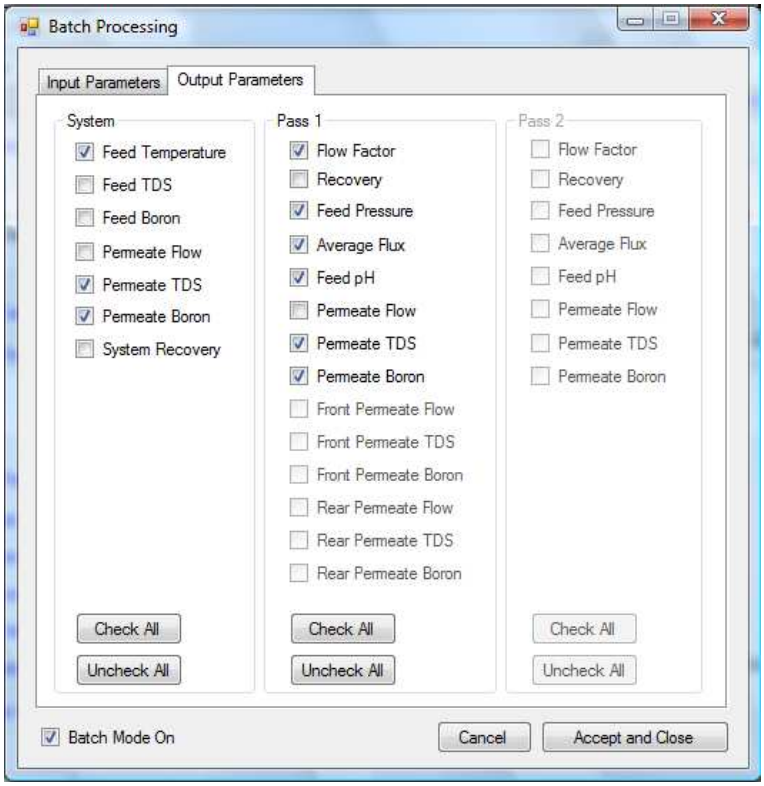
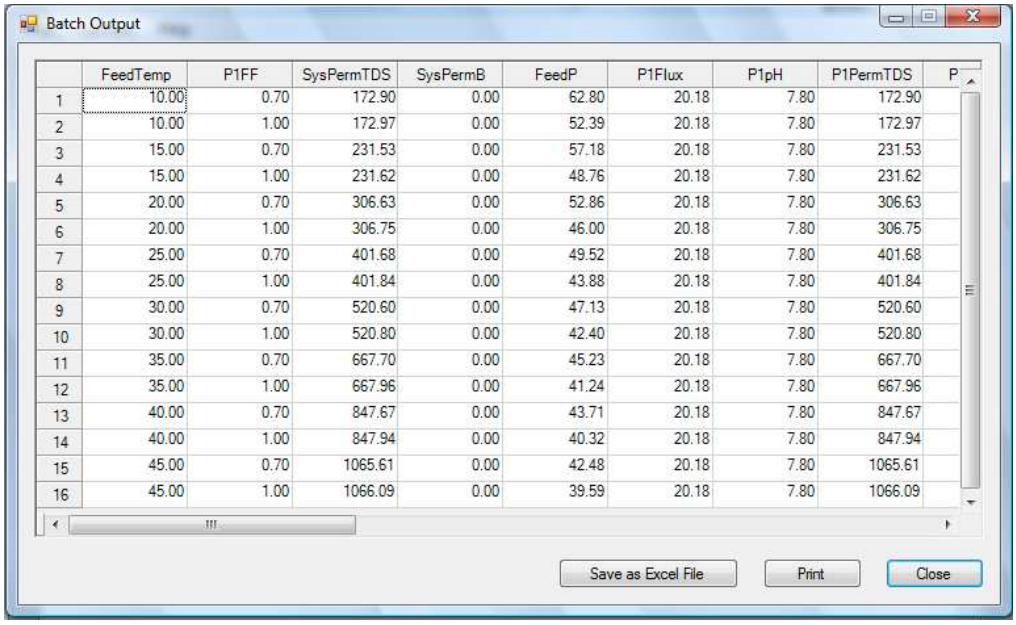


Figura 6.14: Ventana rellenada de "Batch Processing; Output Parameters".

Una vez la ventana de "Batch Processing" presente el aspecto mostrado en las figuras 6.13 (Input Parameters) y 6.14 (Output Parameters), el usuario deberá, sin modificar ningún aspecto del proyecto creado en el apartado 6.1, clicar sobre la pestaña principal "5) Report".

Al entrar en "Report", el programa ejecutará los cálculos de las 16 simulaciones, presentando sus resultados en la tabla de "Batch Output", que se muestra en la figura 6.15.



Batch Output

	FeedTemp	P1FF	SysPermTDS	SysPermB	FeedP	P1Flux	P1pH	P1PermTDS	P
1	10.00	0.70	172.90	0.00	62.80	20.18	7.80	172.90	
2	10.00	1.00	172.97	0.00	52.39	20.18	7.80	172.97	
3	15.00	0.70	231.53	0.00	57.18	20.18	7.80	231.53	
4	15.00	1.00	231.62	0.00	48.76	20.18	7.80	231.62	
5	20.00	0.70	306.63	0.00	52.86	20.18	7.80	306.63	
6	20.00	1.00	306.75	0.00	46.00	20.18	7.80	306.75	
7	25.00	0.70	401.68	0.00	49.52	20.18	7.80	401.68	
8	25.00	1.00	401.84	0.00	43.88	20.18	7.80	401.84	
9	30.00	0.70	520.60	0.00	47.13	20.18	7.80	520.60	
10	30.00	1.00	520.80	0.00	42.40	20.18	7.80	520.80	
11	35.00	0.70	667.70	0.00	45.23	20.18	7.80	667.70	
12	35.00	1.00	667.96	0.00	41.24	20.18	7.80	667.96	
13	40.00	0.70	847.67	0.00	43.71	20.18	7.80	847.67	
14	40.00	1.00	847.94	0.00	40.32	20.18	7.80	847.94	
15	45.00	0.70	1065.61	0.00	42.48	20.18	7.80	1065.61	
16	45.00	1.00	1066.09	0.00	39.59	20.18	7.80	1066.09	

Save as Excel File Print Close

Figura 6.15: Ventana de "Batch Output".

Como se observa en la figura 6.15, en la ventana de "Batch Output" se muestran los resultados de las 16 simulaciones: para cada temperatura de trabajo (FeedTemp) y factor de flujo (P1FF) se indica el valor de los parámetros del sistema que fueron marcados en "Output Parameters".

Con la información contenida en la ventana de "Batch Output", el usuario podrá realizar gráficos para evaluar la variación de parámetros al cambiar el factor de flujo, como se muestra en los ejemplos de las figuras 6.16 y 6.17.

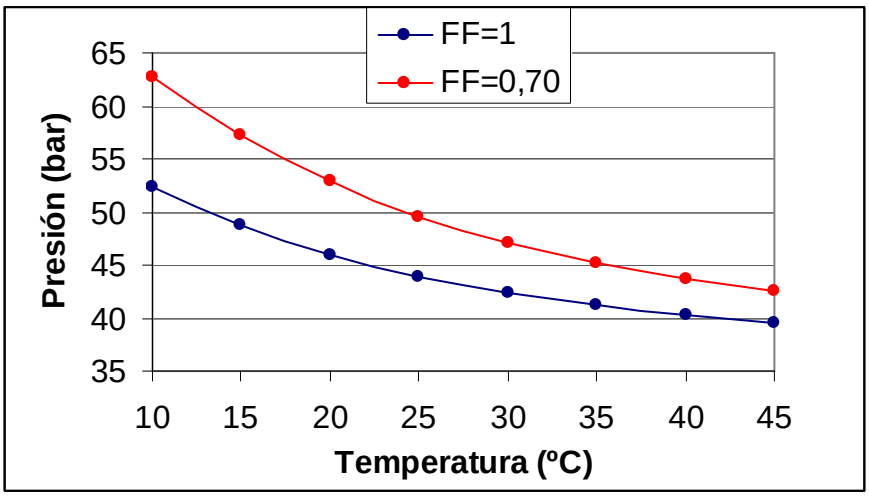


Figura 6.16: Presión de alimentación frente a temperatura para distintos FF

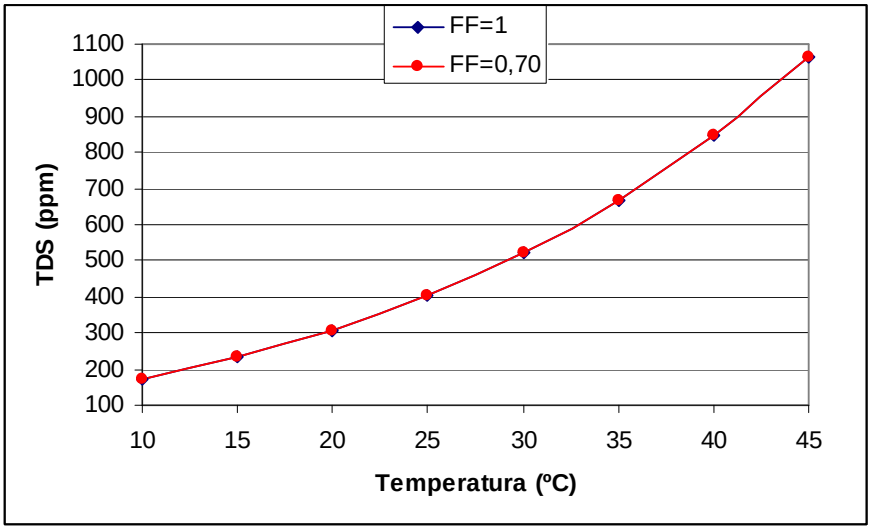


Figura 6.17: TDS frente a temperatura para distintos FF

Como se observa en la figura 6.16, cambios en el factor de flujo provocan grandes variaciones en la presión que hay que suministrar para lograr los objetivos de diseño. Si la instalación mantiene su funcionamiento a 25 ºC, desde su puesta en marcha (FF=1) hasta el momento en el que tengan que sustituirse las membranas (FF=0,70), esta presión aumentará desde 43,9 a 49,5 bar, lo cual supone un importante aumento de los costes de operación del sistema.

En cambio, tal y como se observa en la figura 6.17, los cambios en el factor de flujo no afectan al valor del TDS en el producto, que se mantiene en todo momento independientemente del FF escogido para la instalación (a temperatura constante).

7. Fuentes de información

LIBROS:

[1] Ibrahim Perera, J.C. "*Desalación de Aguas"*. Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos. Madrid, 1999.

ARTÍCULOS:

[2] Oh H.J., Hwang T.M., Lee S.; "*A simplied simulation model of RO Systems for seawater desalination*". Desalination, 238 (2009) 128-139.

RECURSOS ELECTRÓNICOS:

[2] Descarga del software ROSA. Página de Dow Chemical. Consultado en agosto de 2011. Disponible en:
http://www.dowwaterandprocess.com/support_training/design_tools/rosa.htm

[3] Pautas de Dow para el diseño de sistemas de ósmosis inversa. Página de Dow Chemical. Disponible en:
http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_0036/0901b803800362e3.pdf?filepath=/609-02054.pdf&fromPage=GetDoc

[4] Casado Sola A., Letona Cabriada A.; "*Presente y futuro de los pretratamientos*". Revista del colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos. Disponible en:
http://www.ciccp.es/revistait/textos/pdf/11ACasado.pdf

[5] Descripción de membranas. Página de la compañía Lenntech. Consultada en septiembre de 2011. Disponible en:
http://www.lenntech.es/membranas-tubulares.htm

[6] Desalación por osmosis inversa. Página de Veolia Water. Consultada en septiembre de 2011. Disponible en:
http://www.veoliawaterst.es/lib/vws-iberica/23DCsZBd0j75tq4RPNC8azHK.pdf

[7] Página de Dow Chemical Company. Consultada en septiembre de 2011. Disponible en:
http://www.dow.com/

[8] Tratamiento de aguas. Página de Alfa Editores. Consultada en septiembre de 2011. Disponible en:
http://www.alfa-editores.com/bebidas/Agosto%20Sept%2005/TECNOLOGIA%20Tratamiento.htm

[9] Clasificación de las membranas y de los procesos que las utilizan. Página de la Universidad de los Andes. Consultada en septiembre de 2011. Disponible en:
http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S452B.pdf

[10] Índice de densidad de sedimentos (SDI). Página de la compañía ACS Medio Ambiente. Consultada en octubre de 2011. Disponible en:
http://www.acsmedioambiente.com/LoNuevo/dsi.htm

[11] Índice de saturación de Langelier (LSI). Página de "Corrosion Doctors". Consultada en octubre de 2011. Disponible en:
http://corrosion-doctors.org/Cooling-Water-Towers/Index-Langelier.htm

[12] Parámetros que afectan a las membranas y a los sistemas de ósmosis inversa. Página de la compañía RevisaH2O. Consultada en octubre de 2011. Disponible en:
http://www.revisah2o.com/documentacion/07%20Parametros%20que%20afectan.PDF

[13] Índice de ensuciamiento (SDI). Página de la compañía Emalsa. Consultada en octubre de 2011. Disponible en:
http://www.emalsa.es/3/3_6_4.php

[14] Parámetros químicos del agua dedicada a ósmosis inversa. Página de membranas.com. Consultada en octubre de 2011. Disponible en: http://www.membranes.com/docs/papers/04_ro_water_chemistry.pdf

[15] Química del ácido carbónico del agua. Página de la "Nuclear Sciences and Applications". Consultada en octubre de 2011. Disponible en: http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/documents/LIBRO%20IS%C3%93TOPOS/PDF%20Isotopos-I/Seccion9.pdf

[16] Composición media del agua marina. Página de la empresa Lenntech. Consultada en octubre de 2011. Disponible en: http://www.lenntech.com/composition-seawater.htm

[17] Precios de elementos de ósmosis inversa. Página de la empresa Excel Water Technologies. Consultada en octubre de 2011. Disponible en: http://www.excelwater.com/eng/b2c/our_product_membrane.php

[18] Precios de recipientes de presión para ósmosis inversa. Página de la empresa Boundless Outfitters. Consultada en octubre de 2011. Disponible en: http://www.boundlessoutfitters.com/RO-Pressure-Vessels-s/57.htm

[19] Indicador económico NPV. Página de mailxmail.com. Consultada en octubre de 2011. Disponible en: http://www.mailxmail.com/curso-indicadores-financieros/van-npv-net-present-value-tir-irr-internal-rate-of-return

[20] Calculadora financiera. Página de Gálibos software. Consultada en octubre de 2011. Disponible en: http://www.gabilos.com/calculadoras/textocalculadoras.htm

[21] Influencia de los TDS en el sabor del agua. Página de freedrinkingwater.com, perteneciente a la compañía APEC. Consultada en octubre de 2011. Disponible en:

http://www.freedrinkingwater.com/water_quality/quality1/15-08-tds-affects-taste-of-water.htm

[22] Norma oficial mexicana de calidad de aguas NOM-127-SSA1-1994, “Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-limites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". Disponible en:
http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html

[23] Precio del agua en distintas ciudades españolas. Página de la OCU. Consultada en noviembre de 2011. Disponible en:
http://www.ocu.org/suministros-y-energia/20060223/un-analisis-de-la-ocu-detecta-agua-no-potable-en-las-muestras-recogidas-en-6-ciudades-espanolas-ATTACH_s253331.pdf

Anexo I: Nomenclatura de FilmTec

En este anexo se describirá brevemente la nomenclatura utilizada para los elementos de FilmTec de ósmosis inversa.

Figura I.1: Elemento TW30-1812-75 de FilmTec.

Los típicos elementos de FilmTec presentan geometría cilíndrica (véase figura I.1), con las siguientes dimensiones características estándar:

Longitudes estándar:

- Longitud de 40” (1016 mm). Esta longitud es común a la mayoría de elementos de FilmTec,
- Longitudes de 21” y 14” (533 y 356 mm) únicamente para sistemas pequeños y compactos.

Diámetros estándar:

- Diámetro de 8” (201 mm), utilizados en instalaciones de gran tamaño, y diseñados para encajar en el interior de los recipientes de presión de 8”.
- Diámetro de 4” (99 mm), utilizados en instalaciones de tamaño medio, y diseñados para encajar en el interior de los recipientes de presión de 4”.
- Diámetro de 2,5” (61 mm), utilizados en pequeñas instalaciones, y diseñados para encajar en el interior de los recipientes de presión de 2,5”.

La gran mayoría de elementos de FilmTec presentan las dimensiones estándar especificadas anteriormente, pero también hay excepciones, como los

elementos llamados “Home Drinking Water RO”, diseñados con 12” de longitud y tan sólo 1,8” de diámetro.

A continuación se mostrará la nomenclatura utilizada para los elementos de FilmTec. Ésta es distinta en elementos de 8” de diámetro que en el resto, por lo que se explicarán de forma separada:

1) Elementos de menos de 8” de diámetro.

Los elementos de FilmTec con un diámetro de 4 ó 2,5” se nombran como sigue:

-Las primeras letras indican el tipo de membrana de acuerdo a su uso, según el siguiente código:

- TW -> “Tap Water” (Agua del Grifo).
- BW -> “Brackish Water” (Agua Salobre).
- SW -> “Seawater” (Agua del Mar).
- SWHR -> “Seawater High Rejection” (Agua del Mar con Elevado Rechazo de sales).

-A continuación se indica mediante dos números la familia de elementos a los que pertenece la membrana en cuestión. Por ejemplo: 30, si pertenece a la familia FT30.

-La tercera parte corresponde al diámetro del elemento (multiplicado por 10, en pulgadas). Por ejemplo, si presenta un diámetro de 4”, este código sería 40.

-La cuarta y última parte corresponde a la longitud del elemento, en pulgadas. Por ejemplo, si presenta una longitud de 40”, este código sería 40.

Así pues, el elemento BW30-4040 será una membrana utilizada para aguas salobres, con un diámetro de 4” y una longitud de 40”.

2) Elementos de 8” de diámetro.

Los elementos de FilmTec con un diámetro de 8” presentan siempre una longitud de 40”, por lo que son nombrados de acuerdo a su área activa nominal en lugar de a sus dimensiones características.

Por ejemplo, el elemento BW30-400 sería un elemento utilizado para aguas salobres, de 8” de diámetro por 40” de longitud y con un área activa nominal de 400 ft^2.

Junto a esta nomenclatura estándar, es habitual que se introduzcan extensiones al nombre de un elemento, indicando características concretas de éste, por ejemplo:

- FR -> “Fouling Resistant” (Resistente al Ensuciamiento).
- LE -> “Low Energy” (Baja Energía).
- XLE -> “Extremely Low Energy” (Energia Extremadamente Baja).
- HR -> “High salt Rejection” (Elevado Rechazo de sales).
- LP -> “Low Pressure” (Baja Presión).

También es posible encontrar combinaciones de estas extensiones, de forma que el elemento SW30HRLE-400 estará indicando en su nombre que es un tipo de membrana utilizado para agua marina, con un elevado rechazo de sales y de baja energía, con unas dimensiones de 8” de diámetro por 40” de longitud y un área activa nominal de 400 ft^2.

Con esta breve descripción de la nomenclatura de elementos de FilmTec únicamente se pretende dar una idea general del significado de los nombres que presentan éstos, y en ningún caso se pretende abarcar todo su contenido, que comprende una mayor complejidad que la aquí expuesta.

Anexo II: Selección de elementos de FilmTec

En este segundo anexo se explicará brevemente cómo se puede acceder al listado de elementos de FilmTec, qué aspecto presenta este y cómo se encuentra estructurado.

Para acceder al listado de elementos de FilmTec el usuario puede seguir las instrucciones que se dieron en el apartado 5.1.3.2 de este manual o bien puede acceder directamente mediante el siguiente enlace:

http://www.dowwaterandprocess.com/products/ronf.htm

Dicha página Web presentará el aspecto que se muestra en la figura II.1:

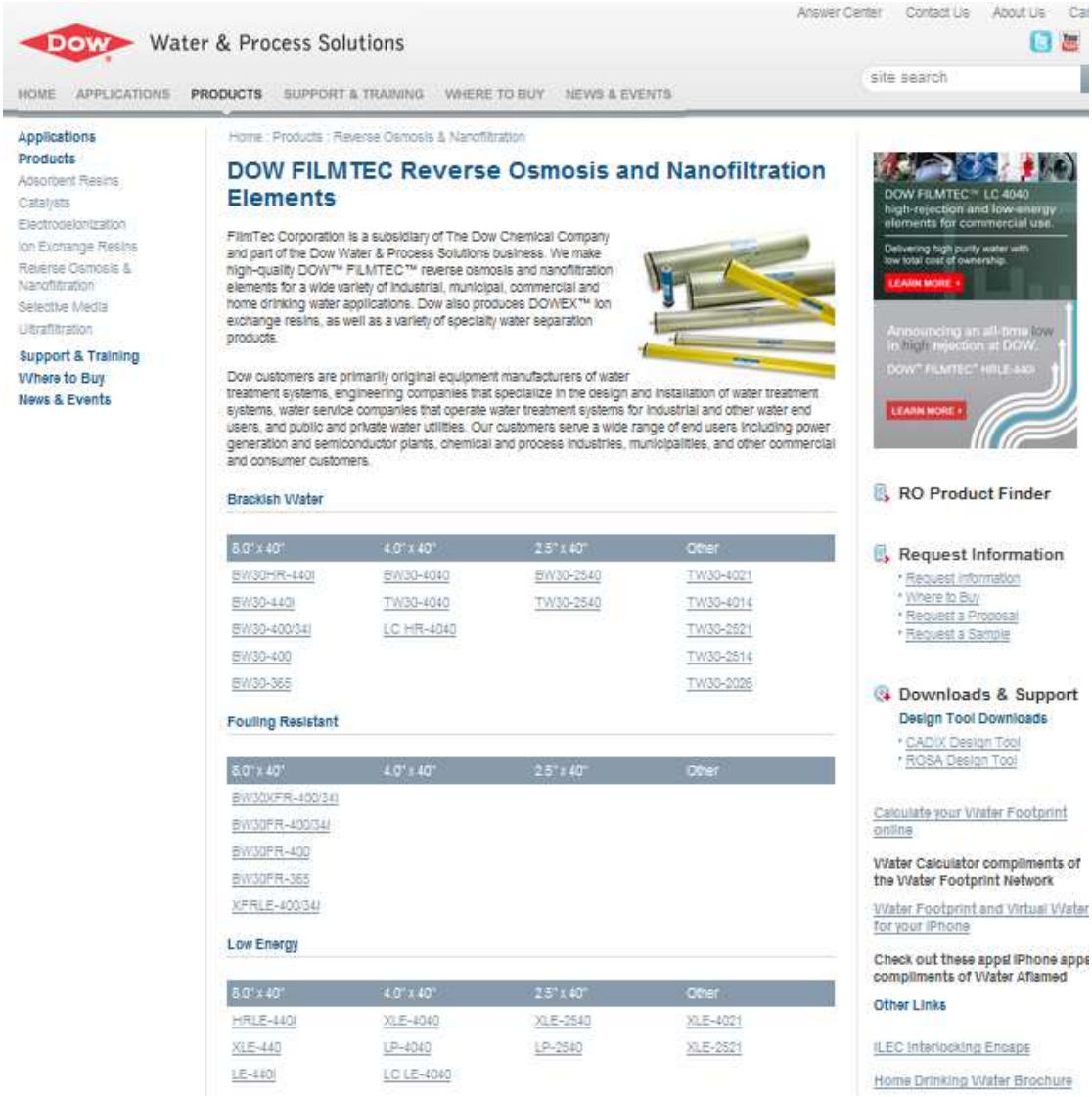


Figura II.1: Listado de elementos de FilmTec.

Como se puede observar, FIilmTec clasifica sus elementos de acuerdo a sus utilidades y dimensiones características. A continuación se detallará cada una de las partes en las que se divide el listado de elementos.

II.1 "Brackish Water" (Agua Salobre):

FilmTec presenta una gran variedad de elementos de todos los tamaños para aplicaciones de ósmosis inversa a partir de agua salobre, tal y como se amplía en la figura II.2:

Brackish Water

8.0" x 40"	4.0" x 40"	2.5" x 40"	Other
BW30HR-440i	BW30-4040	BW30-2540	TW30-4021
BW30-440i	TW30-4040	TW30-2540	TW30-4014
BW30-400/34i	LC HR-4040		TW30-2521
BW30-400			TW30-2514
BW30-365			TW30-2026

Figura II.2: Listado de elementos de FilmTec: "Brackish Water".

II.2 "Fouling Resistant" (Resistentes al Ensuciamiento):

Los elementos de FilmTec resistentes al ensuciamiento presentan todos, como es lógico, el mayor diámetro comercial (8"), tal y como se muestra en la figura II.3:

Fouling Resistant

8.0" x 40"	4.0" x 40"	2.5" x 40"	Other
BW30XFR-400/34i			
BW30FR-400/34*i*			
BW30FR-400			
BW30FR-365			
XFRLE-400/34*i*			

Figura II.3: Listado de elementos de FilmTec: "Fouling Resistant".

II.3 "Low Energy" (de Baja Energía):

Los elementos de FilmTec denominados "de baja energía" suelen presentar porcentajes de rechazo de sales similares a los tradicionales, pero a costa de una menor presión que éstos. Cada elemento presenta unas características propias, por lo que el usuario tendrá que informarse individualmente. Los elementos de FilmTec denominados "de baja presión", se presentan en la figura II.4:

Low Energy

8.0" x 40"	4.0" x 40"	2.5" x 40"	Other
HRLE-440*i*	XLE-4040	XLE-2540	XLE-4021
XLE-440	LP-4040	LP-2540	XLE-2521
LE-440i	LC LE-4040		
LE-400	LE-4040		

Figura II.4: Listado de elementos de FilmTec: "Low Energy".

II.4 "Industrial Grade Brackish Water" (Agua Salobre de Grado Industrial):

Los dos elementos mostrados en la figura II.5 corresponden a los elementos diseñados por FilmTec específicamente para el tratamiento de aguas salobres para aplicaciones industriales.

Industrial Grade Brackish Water

8.0" x 40"	4.0" x 40"	2.5" x 40"	Other
BW30-365-IG			
BW30-400-IG			

Figura II.5: Listado de elementos de FilmTec: "Industrial Grade Brackish Water".

II.5 "Nanofiltration" (Nanofiltración):

En la figura II.6 se muestran los elementos de FilmTec diseñados para una nanofiltración del agua. Este proceso suele darse a cabo en pretratamientos avanzados del agua de alimentación, antes que ésta sea introducida en los módulos de ósmosis inversa.

Nanofiltration

8.0" x 40"	4.0" x 40"	2.5" x 40"	Other
NF90-400	NF90-4040	NF90-2540	
NF270-400	NF270-4040	NF270-2540	

Figura II.6: Listado de elementos de FilmTec: "Nanofiltration".

II.6 "Sanitary/Full Fit (Medical/Food)" (Agua de uso Sanitario o Alimentario):

En la figura II.7 se muestran los elementos de FilmTec diseñados para la producción de agua de gran calidad para su uso en aplicaciones médicas o alimentarias. En este tipo de elementos es especialmente importante leer cuidadosamente las especificaciones de cada elemento, ya que si el agua producida va a ser utilizada en estos sectores, el elemento necesitará estar aprobado por la Administración correspondiente (en EE.UU. la "U.S. Food & Drug Administration").

Sanitary/Full Fit (Medical, Food)

8.0" x 40"	4.0" x 40"	2.5" x 40"	Other
RO-390-FF	RO-4040-FF		
HSRO-390-FF	HSRO-4040-FF		
Food and Dairy RO-8038	RO-3838/30-FF		
Food and Dairy NF245-8038	RO-3840/30-FF		
NF245-390-FF	NF245-3838/30-FF		
	NF245-3840/30-FF		

*Figura II.7: Listado de elementos de FilmTec: "*Sanitary/Full Fit (Medical/Food)*".*

II.7 “Seawater” (Agua marina):

En la figura II.8 se muestra el amplio catálogo de elementos de FilmTec diseñados para la desalación de agua del mar.

Seawater

8.0" x 40"	4.0" x 40"	2.5" x 40"	Other
SW30XHR-440i	SW30-4040	SW30-2540	SW30-4021
SW30ULE-440i	SW30HRLE-4040		SW30-2521
SW30XLE-440i			SW30-2514
SW30HRLE-440i			SW30-6040
SW30XHR-400i			
SW30ULE-400i			
SW30XLE-400i			
SW30HRLE-400i			
SW30HRLE-400			
SW30HRLE-370/34i			
SW30HR-380			
SW30-8040			

Figura II.8: Listado de elementos de FilmTec: “Seawater”.

II.8 “Semiconductor” (Agua ultrapura):

En la figura II.9 se muestran los elementos de FilmTec diseñados para la producción de agua ultrapura dedicada a aplicaciones muy específicas, la mayoría relacionadas con el mundo de los semiconductores.

Semiconductor

8.0" x 40"	4.0" x 40"	2.5" x 40"	Other
SG30LE-440i			
SG30-400/34i			
SG30LE-400			

Figura II.9: Listado de elementos de FilmTec: “Semiconductor”.

II.9 "Tap Water (Home Drinking)" (Agua de uso Doméstico):

En la figura II.10 se muestran los elementos de FilmTec diseñados para la producción de agua de uso doméstico. Sus dimensiones son muy reducidas, ya que están pensados para aplicaciones domésticas, no industriales.

Tap Water (Home Drinking)

8.0" x 40"	4.0" x 40"	2.5" x 40"	Other
			TW30-1812-24
			TW30-1812-36
			TW30-1812-50
			TW30-1812-75
			TW30-1812-100

*Figura II.10: Listado de elementos de FilmTec: "*Tap Water (Home Drinking)*".*

II.10 "Other Products" (Otros Productos):

En la figura II.11 se muestran los elementos de FilmTec que no encajan en ninguna de las utilidades descritas anteriormente. Por ejemplo, el elemento denominado "Maple Sap Mark I" está diseñado específicamente para la concentración de savia de arce en aplicaciones industriales.

Other Products

8.0" x 40"	4.0" x 40"	2.5" x 40"	Other
Maple Sap Mark I	TW30HP-4611		
	TW30HP-4619		
	TW30HP-4641		

Figura II.11: Listado de elementos de FilmTec: "Other Products".