Trabajo Fin de Grado Ingeniería Química

Modelización de un tratamiento de aguas ácidas de minas empleando WAVE

Autor: Juan A. López Povedano Tutor: Luis Francisco Vilches Arenas Fátima Arroyo Torralvo

> Dpto. de Ingeniería Química y Ambiental Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla

> > Sevilla, 2023



Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a mis padres por el apoyo incondicional durante la realización del Grado, ya que sin su ayuda y ánimo no hubiese llegado hasta aquí.

A mis tutores de proyecto, Fátima Arroyo Torralvo y Luis Francisco Vilches Arenas, por su implicación y dedicación en todo momento.

También agradecer a todos los profesores y profesoras, compañeros y compañeras que he conocido a lo largo de estos cuatro años, en los cuales he podido formarme como ingeniero y persona.

En el siguiente Trabajo fin de Grado se realiza la modelización de un tratamiento de aguas ácidas de minas. El caudal de agua que se va a tratar es un AMD sintético al que se le quiere realizar un primer proceso de nanofiltración y un segundo de ósmosis inversa con objeto de obtener la mayor recuperación posible que cumpla con la calidad especificada.

Para ello se ha usado un software de modelización, WAVE, en el que se ha realizado un análisis de sensibilidad para conocer qué combinación de membranas de nanofiltración y ósmosis inversa consigue la mayor recuperación a un menor coste.

In the following final degree project a modeling of a treatment of acid mine drainage is carried out. The AMD flow to be trated is a synthetic AMD which it is desired to carry out a first process of nanofiltration and a second process of reverse osmosis with the purpose of obtaining the highest recovery possible whose quality is the specified quality.

For this a modeling software program, WAVE, has been used to carry out a sensitivity analysis for the purpose of knowing what combination of nanofiltration and reverse osmosis membranes gets the highest recovery with the lowest cost.

Índice

Agr	adecin	nientos	i
Res	umen		ii
Abs	stract		iii
Índi	ce		iv
Índi	ce de	Tablas	v
Índi	ce de	Figuras	vi
1	Introdu	ucción	1
2	Marco	teórico	4
3	Objetiv	vo y alcance	7
4	Datos	de diseño	8
	4.1.	Caracterización del agua a tratar	8
	4.2.	Selección del sistema de separación	8
5	Herran	nientas de modelización	10
	5.1.	Software WAVE	10
	5.2.	Características generales de WAVE	10
	5.3.	Especificación del agua de alimentación	15
	5.4.	Ultrafiltración	20
	5.5.	Ósmosis inversa	25
	5.6.	Intercambio iónico	29
6	Modeli	zación y resultados	37
7	Conclu	isiones	48
8	Bibliog	grafía	49
Ane	xos		51
	Anexo	A. Características de las membranas empleadas	51
	Anexo	B. Resultados de los ensayos realizados con las membranas NF270-400/34i y RO-3	90-
	rr		66

Índice de Tablas

Tabla 4.1. Caracterización del AMD sintético.	8
Tabla 4.2. Características del AMD sintético tras la eliminación de metales.	8
Tabla 6.1. Comparación entre el agua de alimentación y el agua balanceada.	37
Tabla 6.2. Parámetros de la combinación seleccionada.	39
Tabla 6.3. Resultados caudales, presión y TDS.	40
Tabla 6.4. Descripción del sistema.	40
Tabla 6.5. Concentración de cada ion en las corrientes de alimentación, permeado y conce	ntrado de
cada paso.	41
Tabla 6.6. Resultados caudales, presión y TDS para el resto de las combinaciones de mem	branas. 41
Tabla 6.7. Descripción del sistema para cada combinación de membranas.	44

Índice de Figuras

Figura 1.1. Etapas de formación de AMD.	2
Figura 2.1. Proceso de ósmosis directa.	4
Figura 2.2. Proceso de ósmosis inversa.	5
Figura 2.3. Procesos de separación en base al tamaño de poro.	5
Figura 2.4. Detalle de un microporo.	6
Figura 4.1. Esquema del sistema de ósmosis en dos pasos.	9
Figura 5.1. Introducir datos del usuario.	10
Figura 5.2. Añadir nuevos productos a la biblioteca.	11
Figura 5.3. Especificar costes de operación.	12
Figura 5.4. Especificar eficiencia de las bombas.	12
Figura 5.5. Modificar el sistema de medida.	13
Figura 5.6. Pestaña inicial de WAVE.	14
Figura 5.7. Pestaña "Ajuste pH final".	14
Figura 5.8. Pestaña "Agua de alimentación".	15
Figura 5.9. Modificar pH.	17
Figura 5.10. Equilibrar el agua de alimentación (adicción de solutos).	18
Figura 5.11. Equilibarar el agua de alimentación (ajustar pH).	19
Figura 5.12. Abrir o guardar un agua ya especificada.	19
Figura 5.13. Pestaña "Ultrafiltración".	21
Figura 5.14. Configuración del módulo de ultrafiltración.	22
Figura 5.15. Especificación de <i>Backwash</i> .	23
Figura 5.16. Especificación de CEB.	23
Figura 5.17. Especificación de CIP.	24
Figura 5.18. Especificación de parámetros adicionales.	24
Figura 5.19. Selección del número de pasos.	25
Figura 5.20. Selección del factor de permeabilidad.	26
Figura 5.21. Selección del número de etapas.	26
Figura 5.22. Selección de los elementos.	27
Figura 5.23. Diseño de un sistema ISD.	27
Figura 5.24. Características de la etapa.	28
Figura 5.25. Modificar la recuperación por paso, la recirculación y el baipás.	28
Figura 5.26. Ajuste de pH, adicción de antiincrustante y realización de desgasificación.	29
Figura 5.27. Pantalla principal de intercambio iónico.	31
Figura 5.28. Definición del sistema y la regeneración.	32
Figura 5.29. Selección del tipo de resina.	33
Figura 5.30. Especificación de parámetros adicionales.	33
Figura 5.31. Características del equipo de intercambio iónico.	34
Figura 5.32. Definición de la calidad del producto y la dosis de regeneración.	35
Figura 5.33. Ajuste final de parámetros.	36
Figura 6.1. Pantalla inicial de WAVE con los datos del agua introducidos.	37
Figura 6.2. Guía de diseño para elementos de 8 in en aplicaciones de tratamiento de agua.	38
Figura 6.3. Datos introducidos en el primer paso.	39
Figura 6.4. Datos introducidos en el segundo paso.	40

1 Introducción

En la extracción de minerales por parte de la industria minera, el empleo de grandes cantidades de agua resulta fundamental [1]. Sin embargo, el agua resultante de esta industria se encuentra altamente contaminada por los metales y compuestos con los que ha tenido contacto, denominándose a esta mezcla agua ácida de minas o AMD (*acid mine drainage*) [2], [3].

Este AMD está caracterizado por una alta concentración de metales (como Fe, Mn, Al, Cu, Ca, Pb, Mg, Na y Ni) y sulfatos, motivo por el cual se le denomina "ácida" al tener un pH comprendido entre 2 y 4 debido a la presencia de estas sustancias [3].

El proceso de formación de AMD viene dado por la oxidación de minerales sulfurados cuando se exponen a la acción combinada del oxígeno y el agua [3]. Los minerales sulfurados son aquellos formados por la combinación de un metal o semimetal con azufre. Algunos ejemplos son la pirita (FeS₂), calcopirita (CuFeS₂), galena (PbS), blenda o esfalerita (ZnS), cinabrio (HgS), antimonita (Sb₂S₃) y rejalgar (As₄S₄) [4].

La formación de AMD se da principalmente por la oxidación de la pirita descrita a partir del fenómeno de acidificación [5], el cual se describe a continuación.

En la primera etapa, la reacción de oxidación de la pirita es relativamente lenta a pH ácido, pero se vuelve más rápida cuando el pH es superior a 4,5. La velocidad de suministro de oxígeno controla la velocidad de la reacción. La liberación de protones disminuye el pH de la solución (reacción I) [5].

$$FeS_2 + \frac{7}{2}O_2 + H_2O \rightarrow Fe^{+2} + 2SO_4^{-2} + 2H^+$$
 (1)

Cuando el pH disminuye por debajo de 4,5, la etapa controlante pasa a ser la oxidación del ion Fe^{+2} a Fe^{+3} [5]. La presencia de la bacteria Acidithiobacillus ferrooxidans actúa como catalizador de la reacción, haciéndola más rápida [3]. Esta bacteria se encuentra principalmente en zonas de minas o cuevas, normalmente en regiones con una alta concentración de pirita ya que son una importante fuente de hierro y azufre [6]. En la reacción 2 se observa la oxidación de Fe^{+2} a Fe^{+3} en presencia de esta bacteria.

$$Fe^{+2} + \frac{1}{4}O_2 + H^+ \xrightarrow{A. \ Ferrooxidans} Fe^{+3} + \frac{1}{2}H_2O(2)$$

A niveles de pH por encima de 3,5 el ion Fe^{+3} tiende a formar un precipitado rojizo, hidróxido de hierro (Fe(OH)₃), liberando protones, lo que tiende a disminuir aún más el pH (reacción 3). Además, a medida que disminuye el pH, el ion Fe⁺³ puede actuar como oxidante actuando sobre otros minerales sulfurados como los descritos anteriormente, favoreciendo la producción de mayor cantidad de iones sulfato y de hidrógeno lo que da lugar a lo generación de ácido sulfúrico [5] (reacción 4).

$$Fe^{+3} + 3H_2O \rightarrow Fe(OH)_3 + 3H^+$$
 (3)
 $FeS_2 + 14Fe^{+3} + 8H_2O \rightarrow 15Fe^{+2} + 2SO_4^{-2} + 16H^+$ (4)

El proceso de acidificación se puede observar en la Figura 1.1.



Figura 1.1. Etapas de formación de AMD. En las Fases I y II se producen reacciones que liberan protones acidificando el agua. Cuando el pH pasa cierto umbral, el Fe⁺³ liberado actúa como oxidante para el resto de los minerales sulfurados, liberando más iones sulfatos y protones hasta alcanzar un equilibrio. Figura extraída de 151.

La principal problemática del vertido del AMD es la acumulación de metales tóxicos, como el Pb y el Zn en el sistema receptor, alterando el medio. Otro problema asociado a este vertido es la disminución del pH, permitiendo que los metales disueltos se encuentren disponibles para la asimilación por parte de los seres vivos que habitan la zona, pasando estos a la cadena trófica y, como consecuencia, al ser humano [7].

Para controlar el vertido de estas sustancias al medio ambiente existen métodos de tratamiento de AMD. Estos tratamientos pueden dividirse en métodos pasivos o activos. Los métodos pasivos presentan bajos costes de operación y sólo requieren mantenimiento ocasional con poco consumo de energía mientras que los activos requieren, además de productos químicos, mano de obra y uso prolongado de energía.

Como ejemplo de métodos pasivos destacan el uso de piedra caliza para controlar la acidez, la precipitación de metales pesados y la reducción de sulfatos a sulfitos. Aunque se trata de un método sostenible y de bajo costo, es insuficiente para pH por debajo de 2 además de que el pH del efluente se encuentra entre 7,5 y 8, haciendo que algunos metales tóxicos no consigan precipitar.

Los métodos activos se enfocan en la neutralización-precipitación con cal, el intercambio iónico, la tecnología de membranas, el tratamiento biológico de reducción con microorganismos sulfatoreductores y la electrólisis.

La neutralización-precipitación es el método más robusto debido a su flexibilidad al ser capaz de tratar efluentes con diferentes cargas de acidez y diferente concentración de metales pesados. También puede precipitar iones a altos niveles de pH y luego acidificar el efluente con CO₂ para su posterior vertido.

Su principal desventaja es que necesita un tiempo muy prolongado, durante decenas o cientos de años, además de la formación de lodos muy peligrosos y voluminosos [5].

Otro método activo utilizado recientemente es el empleo de ósmosis inversa. La técnica de ósmosis inversa consiste en el empleo de membranas que actúan como barreras permeables selectivas que permiten que algunas sustancias las atraviesen, el permeado, mientras que el resto son expulsadas, formando la corriente de rechazo [1]. Dicha tecnología es empleada principalmente en efluentes con una alta concentración de iones con alto interés económico y cuya recuperación puede satisfacer los altos costos de aplicación [5].

Sin embargo, dependiendo de las condiciones de la alimentación como la presión, la temperatura o la concentración y el tipo de iones disueltos se pueden producir efectos no deseados que aumentan el uso de energía, así como la degradación de la propia membrana, haciendo que tengan

que ser limpiadas con más frecuencia hasta su reemplazo. A este proceso se le denomina scaling o fouling, formación de incrustaciones que obstruyen la membrana impidiendo que cumpla su función de elemento de separación [1].

En este Trabajo de Fin de Grado se va a evaluar el efecto que tiene la combinación de diferentes tipos de membranas sobre un AMD al cual ya se le han eliminado los metales pesados y se va a analizar qué tipo de combinación resulta más interesante tanto desde el punto de vista económico como de recuperación de agua para su reutilización en la industria.

2 Marco teórico

El proceso de ósmosis es un proceso natural que ocurre cuando se ponen en contacto dos soluciones con concentraciones de sales diferentes separadas por una barrera semipermeable que permite el paso del fluido, normalmente agua, pero impide el paso de los iones disueltos. Entre las dos soluciones existe un flujo de agua desde la solución menos concentrada a la más concentrada con el fin de igualar el potencial químico de ambas soluciones [8], como puede verse en la Figura 2.1.



semipermeable

Figura 2.1. Proceso de ósmosis directa. Cuando una solución poco concentrada se pone en contacto con una solución más concentrada a través de una superficie semipermeable se genera un flujo desde la menos concentrada hacia la más concentrada para igualar las concentraciones. La diferencia de altura se denomina presión osmótica. Figura extraída de [9].

El potencial químico, definido mediante la ecuación 5, es una variable intensiva [10](que no depende de la cantidad de materia) que se puede relacionar con la energía libre de Gibbs (G) (ecuación 6) [11], [12]. Despejando la energía libre de Gibbs a presión y temperatura constantes e introduciendo la definición de potencial químico se obtiene la ecuación 7 [13]. Asumiendo que se alcanza el equilibrio (dG=0), que el sistema es cerrado (dni,1+dni,2=0) y que el potencial químico estándar es similar en ambas celdas del sistema, podemos concluir que una igualdad en los potenciales químicos conlleva a una igualdad en la concentración, lo que provoca un desplazamiento de la solución menos concentrada hacia la más concentrada, tal como se puede observar en la Figura 2.1.

$$\mu_{i,k} = \mu_{i,k}^{0} + R \cdot T \cdot ln\left(\frac{C_{i,k}}{C^{0}}\right) (5)$$
$$\mu_{i} = \frac{\partial G}{\partial n_{i}} P_{T,n_{j}} (6)$$
$$dG = \mu_{i,1} dn_{i,1} + \mu_{i,2} dn_{i,2} (7)$$

Donde $\mu_{i,k}$ y $\mu^{0}_{i,k}$ representan el potencial químico y el potencial químico en condiciones estándar respectivamente para la sustancia i en la celda k, $C_{i,k}$ representa la concentración de la sustancia i en la solución de la celda k, C^{0} es la concentración estándar y equivale a 1M, dG, dn_{i,1} y dn_{i,2} representan la variación de energía libre de Gibbs y la variación de moles de la sustancia i en la solución de la celda 1 y 2 respectivamente, R es la constante de los gases ideales y T es la temperatura en K. La derivada de la energía libre de Gibbs se hace a presión, temperatura y composición del resto de sustancias constantes.

Este flujo desde la solución menos concentrada hacia la más concentrada produce una diferencia de altura entre las dos columnas que se denomina presión osmótica [9].

Sin embargo, aplicando una presión externa que sea superior a la presión osmótica el proceso se puede invertir, haciendo circular el agua hacia la región menos concentrada purificándola hasta obtener un agua con la pureza deseada. A este proceso se le denomina ósmosis inversa o RO (reverse osmosis) [9], tal como se puede observar en la Figura 2.2.





Figura 2.2. Proceso de ósmosis inversa. Cuando se aplica una presión superior a la presión osmótica, el flujo de agua se invierte, purificando el agua más concentrada hasta el nivel deseado. Figura extraída de [9].

Otro método de separación con membranas muy utilizado es la nanofiltración que actúa de manera muy similar, pero con moléculas de mayor peso molecular. Su radio de acción se encuentra entre la ultrafiltración (UF) y la ósmosis inversa (RO) abarcando el campo de las sustancias nanométricas [14], como puede verse en la Figura 2.3. En la Figura 2.4 se puede observar en detalle un poro de una membrana de nanofiltración.

Contaminant size	Ionic range	Molecular range	Macromolecular range	Microparticle range
Pore size (µm)	0.	001 0.01	0.1	1 10
Molecular weight (g/mol)	100 200	1000 100 000 500	000	
Solutes	Aqueous salt	Virus	Ba	cteria
	Inorganic contaminant	Proteins		Micro plastics
		Microsolutes	lic acids	
	MICROS (<1 nm) Pharmaceuticals, steroid hormones, personal care products, pesticides, low molecular weight acids and neutrals, etc.	MACROS (>1 nm) Proteins, humic substan natural organic matte biopolymers, nanopartic viruses	ces, r, cles,	
	Electrodialysis		Membrane biore	actor
	Reverse osmosis		Membrane distilla	tion
Membrane separartion	Nanofiltra	ation	Microfiltration	
processes	Pervaporation	Ultrafiltration		

Figura 2.3. Procesos de separación en base al tamaño de poro. Figura extraída de [15].



Figura 2.4. Detalle de un microporo. Figura extraída de [15].

3 Objetivo y alcance

En la actualidad la escasez de agua se está convirtiendo en un problema tanto para la sociedad como para la industria. Debido a que la industria, en concreto la industria minera, es una de las mayores consumidoras de agua, empleando millones de litros diarios en labores de extracción y mantenimiento, es necesario un modelo de economía circular que permita la reutilización del agua para evitar el estrés hídrico del medio [16].

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es, mediante el uso de software de modelización WAVE, analizar la configuración óptima de membranas que permitirán la mayor recuperación de agua a partir de una AMD con una alta concentración de sólidos disueltos y disponerla para su reutilización en la propia industria. Además, también se pretende extraer los sulfatos disueltos con el objetivo de emplearlos en la síntesis de ácido sulfúrico o de otros productos sulfurados.

4.1. Caracterización del agua a tratar

Los AMD producidos en la industria minera pueden ser muy variados dependiendo de la zona y del mineral que se extraiga. Para este trabajo se ha escogido un AMD sintético que cuenta con el valor mínimo de sales que se puede encontrar en la industria. Este AMD cuenta con una concentración de sólidos disueltos totales de 17387 mg/L y un caudal de 0,6 m³/h [3]. A partir de este AMD se pretende, mediante un sistema de nanofiltración (NF) y ósmosis inversa (RO) obtener un agua que se pueda reutilizar en la propia industria, extrayendo los sulfatos disueltos y reduciendo la concentración de sólidos totales hasta unos valores aceptables. En la Tabla 4.1 se recoge la caracterización completa del agua a tratar.

Tabla 4.1. Caracterización del AM	ID sintético. Datos extraídos de [3].
-----------------------------------	---------------------------------------

	Composición de	l agua de entrada	
Cationes	s (mg/L)	Aniones	(mg/L)
Al^{+3}	648	SO_4^{-2}	13429
Ca^{+2}	221	CO3 ⁻²	660
Cu^{+2}	1399		
Fe^{+3}	501		
Mn ⁺³	135		
Mg^{+2}	394		
	Descripción d	e la solución	
TDS (1	mg/L)	173	387
pl	Н	2,2	37
Tempera	tura (°C)	2	0

Sin embargo, el software WAVE no permite trabajar con iones metálicos como el Fe o el Mn. Para ello, primero se ha realizado un proceso de eliminación de metales que consta de una serie de decantadores en los que se ha empleado un proceso de oxidación y filtración [17].

Una vez extraídos los metales, las características del agua quedan como puede verse en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Características del AMD sintético tras la eliminación de metales.

	Composición de	l agua de entrada	
Cationes	(mg/L)	Aniones	s (mg/L)
Ca ⁺²	221	SO_4^{-2}	13429
Mg^{+2}	394	CO3 ⁻²	660
	Descripción	de la solución	
TDS (r	ng/L)	147	704
pł	I	0,5	85
Temperat	ura (°C)	2	5

4.2. Selección del sistema de separación

Para realizar la separación de los componentes del AMD y alcanzar los valores escogidos de TDS (sólidos disueltos totales) se ha realizado un tren de membranas que consta de dos pasos, el primero correspondiente a la etapa de nanofiltración y el segundo a la etapa de ósmosis (Figura 4.1).

En la etapa de nanofiltración se pretende separar los iones sulfato de la solución final con el objetivo de la producción de ácido sulfúrico. Se ha escogido la nanofiltración debido a que permite retener los iones divalentes con un mayor grado de eficiencia [18].

En el segundo paso se ha utilizado una membrana de ósmosis inversa para ajustar la concentración de sólidos totales a fin de que cumpla con el valor de 500 mg/L deseado. El permeado obtenido se considera que cumple con los criterios para ser recirculado a la planta y que se reutilice en la extracción y la limpieza de los minerales.



Figura 4.1. Esquema del sistema de ósmosis en dos etapas. En el primer paso se realiza una nanofiltración mientras que en el segundo se realiza una ósmosis inversa. La corriente 5D no pertenece al sistema real debido a que las corrientes de rechazo no se mezclan con objeto de utilizar la corriente de rechazo del primer paso como fuente de sulfatos.

5 Herramientas de modelización

5.1. Software WAVE

WAVE (Water Application Value Engine) es un software de modelización diseñado por la empresa Dupont que integra tres de las principales tecnologías de tratamiento de aguas empleando el uso de membranas como son la ultrafiltración, la ósmosis inversa y la resina de intercambio iónico en una interfaz intuitiva. Este software permite diseñar y simular el funcionamiento de sistemas que contengan las tecnologías antes mencionadas de una manera más rápida y eficaz además de diseñar sistemas complejos con alto nivel de precisión [19], [20].

5.2. Características generales de WAVE

5.2.1. Definición de la información de usuario

Al iniciar un proyecto en WAVE es recomendable introducir datos referentes al proyecto como son el nombre del proyecto, la fecha, una descripción, etc. Para ello basta con pulsar en la pestaña "Ajustes de usuario" y en "Información del usuario". Una vez introducidos todos los datos hacer clic en guardar, tal como se muestra en la Figura 5.1.

Configurat	Project - Case 1 ion User Settings Overnical User Ubrary Defe	Feed Setup Currency Costs	Report Help	Backup Restore Database	💱 WAVE Answer Center	Quid Help
Program Setting		Project Settings	A	pplication Settings		
Home Reed Water Su	mmary Report					
Untitled Pro Welcome. To get at 1. Specify either yo 2. Add processing a 2. Mouse over item	Contact Information		Addres			
	Last Name: Smith			Citys		eralization
Quality	E-mail IIA/FEdd	ow.com		Caunthys		
> Feed W	Office: 6831 Hobie: 123-456-	7890	Language User Enterface E	anguage: English-United St	e185	n Bolan
	Face		Report	anguage: English-United S	Rates	
				Ger	on See	
Design Guideli	-					•
						9

Figura 5.1. Para introducir los datos del usuario primero se debe pulsar en la pestaña "Ajustes de usuario" (*User settings*) y en "Datos del proyecto" (*User Info*). En esa pantalla se pueden introducir datos como el nombre y apellidos del usuario, la empresa, el país y el idioma. Figura extraída de [19].

5.2.2. Biblioteca química

En WAVE se usan una gran cantidad de productos químicos para ajustar el pH, coagular los sólidos, limpiar los módulos de ultrafiltración, evitar las incrustaciones, regenerar las resinas de intercambio iónico... Estos productos pueden ser sustancias de uso común, como NaOH o HCl, en varias concentraciones o sustancias definidas por el usuario. Para añadir un nuevo producto químico basta con pulsar el botón de añadir producto químico, introducir la categoría, el nombre y el símbolo químico y hacer clic en añadir producto químico (Figura 5.2).



Figura 5.2. Para añadir nuevos productos a la biblioteca hay que pulsar "Prod. químicos" (*Chemical Library*) y "Prod. químicos" (*Add Chemical*). En esa pantalla se pueden añadir el nombre y fórmula, la categoría (ácido, base, oxidante...), concentración, densidad y precio. Figura extraída de [19].

5.2.3. Costes de operación

WAVE permite calcular los costes de explotación de un proceso en base a la compra de agua, la eliminación de aguas residuales y el coste eléctrico. También se pueden modificar estos valores, así como el coste de productos químicos, en base al coste real en la industria (Figura 5.3).

User Deter D	Chemical Librery	Angent Leven Common Leven Leve		Cashler Cashler Acci	Backup An Database De Cation Settings	atore tebere	Apply License actual Kay S	etings	
Untitled Pr Wecare To get Lipsely the fee 2.5elect the tech 3.5elect a water	Costs Warss Wo	Rev Water: 0.1570 E(m ⁺) rer Diecosek 0.5313 E(m ⁺) Electricity 0.0032 E(kith)	Mote 1 and th select	The information on the e only observicals and ed for this project	t screet is proy	etapsoffe It have been			are) matazare
	Chemical -	a These Costs the New Default			0.0.0		Contra	-	
Intel	Symoon	Natie	Category a	%	ko/l	E CONTRACTOR	cost rith	51	I
	HCI	Hydrochlaric Acid	Acc	32.65	1.16	0.00	ła -	12	in Points
	4550.	Sulture Acid	Acid	96.00	1.84	0.05	lg ,		
	NyOH	Sodum Hydroside	Dare .	10.00	1.52	0.20	łu – 1	-	<u> </u>
	Net	Sodium Hypechlorite	Oxpant	12.00	1.14	9.25	Na		
Water Type	Ma,PyDy	Sodium Recometaphosphase	Articalart	300.08	2.45	0.77	ła		
Surface He	Na,SyDe	Sodium Metablaulita	Dechlorinator	100.00	1.45	L.59	ha -		-
	False These	Oversical Prices the New Default				Cancel	Since and	Ciss	-

Figura 5.3. Para especificar los costes de operación hay que pulsar en "Costes de operación" (*Operating Cost*) e introducir los valores necesarios en la pantalla. Los datos que se pueden introducir son: coste del agua bruta, de eliminación de agua residual y de electricidad, así como modificar los precios de los productos químicos por defecto. Figura extraída de [19].

5.2.4. Eficiencia de las bombas

Las eficacias mecánicas y eléctricas de las bombas y compresores empleados en la ultrafiltración, la ósmosis inversa y las resinas de intercambio iónico pueden especificarse en WAVE tal y como se indica en la Figura 5.4.

Configuration User	Settings Fee	ed Setup Rep	ort Help		UNAVE Answer Cer	ter 🔛 Quick
Control Control Library Library Program Sattings	Angled Current	y Operating	Pros Deable Log	Backup Besture Database Database plication Settings	Apply License License Kay Settings	
Peed Vialer Ultrafiltration	August -		•		10	
Untitled Project - Case Welcome To get started on your ne Lispectly the feed flowrate or produc	Technology	Pump	Pump	Motor Hitisters	Total	
3. Select a vater type from the dropd	ús.	Feed	0.03	0.92	0.702 -	6
	UK:	Backsseh	8.40	0.92	9.736	2
	UF .	CI#	6.80	0.92	0.736	neralization
100	UT:	Air Compressor	0.00	0.93	0.400	D (KU)
	ur.	Mearing.	8.80	0.92	0.736	-
	RO	Feed > 27.58 bar	. 8.84	0.90	0.790	
Feed Water 100	80	Peed < 27.58 ber		0.50	0.756	24573-0
	10	Becotar	9.84	0.95	8.798	tic Points
	80	Matering	0.84	0.95	0.798	
	DX .	Feed	1.67	0.92	0.738	
APOSALIZA	DX	Becknash-	9.82	0.91	0.736	
наме Туре	DX-	Regeneration	0.87	0.92	0.736	
	DX.	Air Compressor	0.50	0.90	0.462 -	1 marine
	+1		in .		1. 1.	Distant of
	Make These P	ump Dificiences the New	Default	Cancel	Save and Close	

Figura 5.4. En la pestaña "Bombas" (*Pumps*) se pueden especificar la eficiencia mecánica y eléctrica para las bombas y compresores usados en las diferentes tecnologías de WAVE. Figura extraída de [19].

5.2.5. Unidades de medida

Este software permite cambiar entre el sistema de medida inglés y el SI a decisión del usuario (Figura 5.5).

Configuration User				WAVE Answer Center 🛛 📦 Quick H
Plane O gpm @ m'(h)			1	
O set O wild		Units		
Pressures po po por		0.05	C Metric	
Rec gld G LMH	Filewi	Cape		
Units Mare		Gand	D	
forme Feed Vitater Ultrafiltration Re		1-230.077	CLA	
and the second	Pressure:	0 201	# ber	
Untitled Project - Case 1			0.895	rechnologies
Lispecify the feed flowrate or product fi	Temperature:	0.15	**	A Pre-treatment
 Select the technologies by dragging at 3. Select a sugger tone from the characteria 	Flast	0.912	INH INH	
	Area	0.47	· ***	UF (085/0)
	Concentration (genes):	C pperv	@ ustm	
	Conductivity:		mo/24 🖷	Turk Democratization
			(i) mG/cm	RE ROSC INT
	Density:	C to/gel	· g/on*	
	Langth	On	(C) em	n Polisting
0			@ eve	10VB
Freed Western 100 mm	Power	(C hp		
	Specific Velocity:	C gper/tr ⁴	@ \$4/h	A Split and Mix Points
	Volume (solution):	(C gal	61	
			· */	
	Volume (recirc);	0.41	(DL	
			@ m*	
(1) + (1) +	Volume (common):		- IN IN	
Water Type:	Regeneration Dose	0 8/81	10 9	
-	Linear Velocity	C gpm/tt ²	🗰 m/h	
	Weight	O B	@ ig	0.73
	Gas Florer	C actes	· Am /n	Distance
	Organicat		angris TOC	
			C mp/L KM+O.	
	Adults These Contraction Name Contra	10		

Figura 5.5. WAVE permite modificar entre el sistema de medida inglés y el SI. Figura extraída de [19].

5.2.6. Especificación del flujo de alimentación y productos del sistema

Mediante los cuadros de texto situados en el centro de las flechas azules es posible definir el caudal de alimentación o de permeado (sólo uno el otro se obtiene al resolver el sistema).

En caso de introducir un caudal con valor 0 o negativo, WAVE mostrará un mensaje de advertencia. Si se define el caudal de alimentación, que debe ser mayor que cero, WAVE calcula el producto obtenido en base a una recuperación, que puede ser la que contiene el programa por defecto o una especificada por el usuario (sólo se encuentra disponible para la ósmosis inversa). En los demás casos se trata de una estimación inicial, siendo necesario resolver completamente el sistema para conocer la recuperación real.

Para escoger la/s tecnología/s que se van a utilizar basta con arrastrar el icono con la tecnología escogida hasta el icono gris (cerca de la flecha de alimentación). Para modificar la recuperación por defecto, hacer clic derecho y pulsar definir recuperación (Figura 5.6).



Figura 5.6. En la pestaña inicial se pueden introducir el caudal de alimentación (o el de producto) en el recuadro en las flechas azules. Para seleccionar la/s tecnología/s necesarias hay que arrastrar el icono hacia el icono gris situado a la derecha de la flecha de alimentación tal como muestra la imagen. Para definir la recuperación hay que pulsar clic derecho sobre el icono de la tecnología que se desee modificar. Figura extraída de [19].

5.2.7. Ajuste del pH del producto final

WAVE permite el ajuste del pH del permeado para las tres tecnologías disponibles (ultrafiltración, ósmosis inversa e intercambio iónico), tal como se muestra en la Figura 5.7.



Figura 5.7. En la pestaña "Ajustar pH final" (*Adjust final pH*) se puede ajustar el pH usando ácidos (para bajar el pH) o bases (para subirlo) hasta el valor deseado. Figura extraída de [19].

Para ello basta con pulsar en "Ajustar pH final" en la página de inicio y especificar el pH deseado usando un ácido (clorhídrico o sulfúrico) o una base (hidróxido sódico). Estos productos químicos pueden ser modificados por el usuario tal como se explicó en "Biblioteca química".

5.3. Especificación del agua de alimentación

5.3.1. Definición del tipo de agua

Las características del agua alimentación son las mismas para cualquier tipo de tecnología (ultrafiltración, ósmosis inversa e intercambio iónico). Estas características se pueden definir desde la pantalla de inicio (únicamente el subtipo) o desde la pantalla de "Agua de alimentación" (que permite especificar la cantidad de iones, el pH, entre otras; además del subtipo antes mencionado).

Una vez seleccionado el subtipo, en la pantalla de inicio o en "Agua de alimentación", es necesario definir la composición tal como se muestra en la Figura 5.8.

Se selecciona el subtipo de agua en función del pretratamiento que puede ser: con Dupont SDI < 2,5, con pretratamiento con membranas SDI < 3 o con pretratamiento convencional SDI < 5.

Se especifica la cantidad de cationes y aniones además del pH. WAVE rellena automáticamente los campos de $HCO_3/CO_3/CO_2$ en base al equilibrio químico y los datos introducidos en los campos de HCO_3/CO_3 (Figura 5.8).

Se definen las temperaturas de diseño, máxima y mínima, las cuales están acotadas entre 0 °C y 100 °C.

Para el caso de intercambio iónico el CO_2 está incluido en los sólidos totales disueltos (STD) mientras que, para la ósmosis inversa, este compuesto está excluido en los sólidos totales disueltos.



Figura 5.8. En la pestaña "Agua de alimentación" (*Feed Water*) se pueden especificar el tipo y el subtipo de agua, la temperatura (máxima, mínima o diseño), el pH y la composición del agua. Figura extraída de [19].

5.3.2. Especificación del pH

El pH se define en WAVE como el $(-\log_{10})$ de la concentración de H⁺ (mg/L). Para una solución de composición fija, la concentración de H⁺, y por tanto el pH, es una función de la temperatura debido a que las constantes de equilibrio son dependientes de la temperatura. Las reacciones de equilibrio 8 y 9 también son dependientes de la temperatura. Por lo tanto, la concentración de estas especies también es dependiente del pH y de la temperatura.

$$\begin{aligned} H_2CO_3 &\leftrightarrow HCO_3^- + H^+ \leftrightarrow CO_3^- + 2H^+ \ (8) \\ NH_3 &+ H^+ \leftrightarrow NH_4^+ \ (9) \end{aligned}$$

Cuando se introduce el pH como dato de entrada, se asume que corresponde a la concentración de H⁺ a la temperatura de diseño. En caso de que la solución se equilibre mediante la adición o ajuste de solutos, la concentración de H⁺, y por tanto el pH, a la temperatura de diseño es fija. La concentración de H⁺ a la temperatura de diseño sólo cambia si el ajuste se realiza mediante la modificación del pH. Una vez la solución esté equilibrada, WAVE muestra en la pantalla tanto el pH a la temperatura de diseño como a 25 °C (Figura 5.9).

Una vez la solución esté equilibrada a la temperatura de diseño, si se realizan los cálculos a una temperatura diferente, WAVE especifica el pH adecuado a esa temperatura y ajusta la química del agua apropiadamente.

Hay casos, como el pulido de condensados, en los que el pH es conocido a 25 °C, pero la temperatura de diseño del sistema es mucho más alta. En esta situación es necesario seguir los siguientes pasos para obtener un resultado más preciso.

Primero determinar la composición a la temperatura a la cual se conoce el pH: introducir el pH, la temperatura a la que es conocido como temperatura de diseño y los demás componentes del agua de alimentación, equilibrando la carga de la solución mediante la opción de añadir o ajustar solutos. Posteriormente introducir la temperatura de diseño real, equilibrar la carga de la solución y ajustar el pH. Los moles totales se mantienen constantes, pero todas las constantes se calculan para la nueva temperatura y luego se ajusta el pH para equilibrar la carga de la solución.



Figura 5.9. WAVE permite modificar el pH a la temperatura de diseño. A la derecha se muestra el pH a 25 °C. Figura extraída de [19].

5.3.3. Balance de cargas

En WAVE, el agua de alimentación debe estar equilibrada para poder realizar la simulación. Hay varias formas de equilibrar las cargas del agua de alimentación:

> Equilibrio de cargas por adición de solutos específicos

Se puede realizar un balance de cargas añadiendo cationes (sodio, calcio o amoníaco) o aniones (cloruros o sulfatos) dependiendo de si el agua tiene carga positiva neta (añadiendo aniones) o negativa (añadiendo cationes). Para ello hay que pulsar en los botones de la sustancia correspondiente dependiendo de la carga neta del agua.

Equilibrio de carga mediante el ajuste de las composiciones de los solutos

Otro método es equilibrar la carga de la solución modificando manualmente la concentración de cada tipo de soluto proporcionalmente. Para ello se pueden tomar tres opciones, dependiendo de lo que sea necesario:

- o Cationes: NH4, K, Na, Mg, Ca, Sr, Ba
- o Aniones: CO3, HCO3, NO3, Cl, F, SO4
- o Ambos: Cationes y aniones

Equilibrio de carga de la composición CO₂/HCO₃/CO₃ para un pH de alimentación determinado

WAVE determina la composición de equilibrio de CO_2/CO_3 en base al pH de alimentación usando las reacciones de equilibrio (reacción 8). La composición de las tres especies se puede usar para ajustar la carga. Para ello hay que pulsar en "Ajustar $CO_2/HCO_3/CO_3$ total" tal como se describe en la Figura 5.10.



Figura 5.10. El agua debe estar equilibrada para que el software pueda resolver el sistema. Para equilibrar el agua se pueden añadir solutos (cationes o aniones dependiendo de la carga neta de la alimentación) o ajustar los iones que se encuentran en el agua. Entre esos iones se puede ajustar la relación entre la concentración CO₂/HCO₃/CO₃ dependiendo del pH. Figura extraída de [19].

Equilibrio de la carga mediante ajuste del pH

La composición de algunas especies (carbonatos y amoníaco) se ve afectada por el pH, por lo que ajustando el pH se puede equilibrar la carga del agua. Esto se consigue haciendo clic en "Ajustar pH" (Figura 5.11).

Tile 🔻 🛛 Cor	figuration	User Setting	p Feed Set.	p Repo	rt Help		1	WAVE Answer Center	Quick H
			Add Solutes		Adjust Sol	ubes.			
Cause To Wated		kut oli	Tables Add Chine	Adust C	More Adust Ani	on Atlant All In		Tank Net	
		Page 1				and the second		- Marian	
🤌 Open Water Li	brary	Add	Calcium Add Salfa	Adjust to	atal COL/HCOL/COL				
Water Libra	ny l	Ade	d Ammonia	Charge Balan	ce Adjustment		Qu	ck Entry	
iome Feed Via	/er Ultrafiltra	tion Revenue Os	mosis DX MB Pole	Summary R	aport				
Stream Definition		- Court M	-						
Stream	1 100.00 %	Pees W	aver - scream	L Debd	Constanti			D	
		FRED Paran	10010	2010	contesting.		Tannan		
Add St	t starts	Water Ty	per	_			- en per		
		Surface \	Water	-	Turbi	dityi 5.00	NTU 5.0	*C 15.0 *C	25.0 *C
		Suggested	Sub-type:	Term	Connended Colds /7	10.00	Minima Minima	um Design N	lanimum
		* Support	on based on user Turbi	dev	and a second for			_	
		and TSS in	put. The selected Wate	F 506 _{ef} 0.00 pH (\$15.0°C) 7.28 pH (\$25.0°C) 7.24					
		Guideline t	a be used.	Organic Content Additional Reed Water Information					
		Water Sul	-type:		Oceanics (T		nali C		
		NTU < 15	T\$5 < 20	-	organisa (r				
		_		_					
Cations				Arians				Neutrals	
Symbol	mg/L	ppm CaCO,	rangit.	Sprebal	ret	ppre CaCO,	mes/s	Spreibal	ret
NH.	0.000	0.000	0.000	co.,	0.086	0.540	0.003	50,	7.580
ĸ	1.700	2.176	0.043	HCO ₆	93.605	76.771	1.534	8	0.080
Na	6.400	12.975	6.279	NO.	2.700	2.996	0.060	CO.	9.774
Mg	5.600	22.065	0.461	d	6.900	\$.340	0.195		
Ca .	31.190	77.666	1.892	P	0.080	008.3	0.000		
2	0.000	0.000	6.000	304	34.000	29.005	0.500		
	9-300	0.000	6.000						
	44.899	116-834	2.335	Total Anions	128-291	114.645	2.291	Total Neutrals:	17.274
Total Cations:						_			
Total Cations: Total Dissolve	d Solids : 180.	600 mg/L							
Total Cations: Total Dissolve Total Dissolve	d Solids : 180. d Solutes: 194	600 mg/L .371 mg/L		Charge Bala	ance: 0.043496 me	ąL.	Eats	mated Conductivity: 24	4.50 µS/cm

Figura 5.11. Otro método para equilibrar el agua es ajustar el pH, afectando a la concentración de carbonatos y amoníaco. Figura extraída de [19].

Otra opción es importar un agua ya especificada de una librería de agua. Para ello hay que pulsar en "Abrir librería" y seleccionar el agua que se vaya a utilizar. Para guardar el agua en la librería hay que pulsar en "Guardar en librería", renombrar la corriente y hacer clic en guardar (Figura 5.12).

Configuration	u User Se	ttings	Feed Setup	Report	Help	ä v	VAVE Answer Center 🛛 👔 Quick H
Save To Water Library	Adjust pH A	dd Solutes	A	djust Solutes			
Concer Western Library	Carl of Landscher	dd Chloride	Add Sodium	-	Adjust Anions Adjust All Tone		
Open water Library	Open From Water	Profile Library				× ⁰ mg/L	NaCl
	1					1	
Water Library						Quick En	try
Fred Minhor Luti	Open From Lib	rary: Well Wa	ter - Med Hardness		•		
ome Feed Water Ultra							
tream Definition	Water Type:	Well					
Stream 1 100.							
		Turbiditor					
Add Stream		for blancy.	0.00		alli 7 70		
	Total Suspende	ed Solids (TSS):	0.00 mg/L		pri: 2.70		pH: 6.90
				Temperature		Temperatur	re-
	0	Organics (TOC):	0.00 mg/L	10.0 •	15.0 °C 20.0 °C	25.0	ec 30.0 ec 35.0 ec
		EDI-	0.00 %/min	Minimum	Decise Maximum		
		501.	0.00 30/1111	MININGIN	Design Maxmun	Minimum	Design Maximum
	Cations		- Anions		- Neutrals	_	
	Symbol	ma/l	Sumbol	ma/l	Symbol ma/l		
	Symbol	nig/t	Synton	ing/t	Symuol myre		
	RH.	0.00	HCO.	0.31	C0. 7.41		
ations	Na	9.10	NO ₃	0.00	B 0.00		- Neutrals
	Mg	9.00	d	1.30			
Symbol mg/L	Ca	82.00	F	0.00		q/L	Symbol mg/L
NH4 0.00	Sr	0.00	SO4	63 00		02	SiO ₂ 30.00
< 99.00	Ba	0.00				15	B 0.00
Na 6,755.0	Total Cations:	102.90	Total Anions	304.20	Total Neutrals: 68.41	.3	CO2 20.23
lg 120.00						.20	
Ca 543.00						0	
or 0.00						81	
Del 0.00	Total Dissolv	ed Solids:46	8.10 mg/L		Charge Balance: 0.00 m	ieq/L	
Total Cations: 7.517 (.11	Total Neutrals: 50.23
			De	ete	Cancel Copy To Feed Wa	ater	
Total Dissolved Solids :							d Conductivity: 31,757.66 µS/cm

Figura 5.12. Si necesitamos usar un agua ya especificada o guardarla para usarla en otro proyecto hay que pulsar en "Abrir librería de agua" (*Open Water Library*) y seleccionar el agua que vayamos a usar. También se muestra una vista previa de esa agua. Para guardar hay que pulsar en "Guardar en librería" (*Save To Water Library*). Figura extraída de [19].

5.4. Ultrafiltración

El diseño del sistema de ultrafiltración en WAVE es una herramienta muy potente que permite dimensionar nuevos sistemas o evaluar el rendimiento de los ya existentes. Para diseñar un nuevo sistema de ultrafiltración es importante entender las principales entradas necesarias para obtener un diseño preciso y optimizado. Estos datos incluyen información sobre el tipo de agua de alimentación (si se trata de agua municipal, agua de mar...), la calidad, el rango de temperatura y el caudal de alimentación requerido (o de producto deseado).

Para un tipo y calidad de agua de alimentación, deben aplicarse las directrices de diseño adecuadas. Estas directrices han sido creadas en base a referencias y experiencias con aguas similares. Las directrices de diseño incluyen el flujo de funcionamiento adecuado, la duración de los ciclos de filtración o la frecuencia de las limpiezas químicas.

Una vez introducida toda esta información en el software de diseño del sistema, automáticamente rellena un informe detallado del diseño del sistema de ultrafiltración, que incluye un diagrama general del flujo del proceso, selección de módulos, tamaño y cantidad de trenes, tamaño de los depósitos de agua y productos químicos, parámetros de proceso y tablas de secuencia, así como estimaciones del consumo de productos químicos y energético.

Para diseñar un módulo de ultrafiltración primero es necesario seleccionar el icono de UF y arrastrarlo hacia el icono gris cerca de la flecha azul (tal como se explicó en el apartado 5.2.6). Una vez hecho esto, debe aparecer una nueva pestaña llamada "Ultrafiltración" que permite introducir todos los datos necesarios.

En la Figura 5.13 se muestra esta pestaña en la que se selecciona: el tipo de módulo, los flujos y caudales, intervalos del ciclo de diseño, las pruebas de integridad de la membrana, el aumento de la presión transmembrana (o TMP) de filtración entre procesos, la recuperación y el tipo de membrana.



Figura 5.13. En la pestaña de "Ultrafiltración" se puede especificar el tipo de módulo, los flujos y caudales, intervalos del ciclo de diseño, las pruebas de integridad de la membrana, el aumento de TMP de filtración entre procesos, la recuperación y el tipo de membrana. Figura extraída de [19].

En WAVE también se tiene en cuenta la comprobación periódica de las membranas puesto que, aunque es un proceso que no implica mucha agua, el tiempo que tarda en realizarse afecta a los tiempos de los demás modos de ultrafiltración.

Este software también hace posible la especificación del aumento de la pérdida de carga a través de la membrana de ultrafiltración (TMP) entre los sucesivos pasos de Backwash (limpieza de la membrana que consiste en hacer pasar un flujo de agua en sentido contrario al filtrado para eliminar las partículas adheridas a la membrana), CEB ácido/álcali (similar al proceso anterior pero con la adición de productos químicos), y CIP (añadir manualmente productos químicos para limpiar las membranas) por hora, lo que ayuda a estimar la energía necesaria para la ultrafiltración teniendo en cuenta el ensuciamiento de la membrana durante su uso. Utilizando los valores adecuados de TMP y las frecuencias de Backwash/CEB/CIP, se puede incorporar el efecto de la disminución del rendimiento debido al deterioro de las membranas debido a los ciclos de limpieza.

WAVE tiene una tabla de configuraciones recomendadas en función del flujo, la duración del ciclo y la selección del módulo. Hay dos opciones para elegir la configuración del sistema: seleccionando una de las filas de la tabla de configuraciones recomendadas o especificando directamente el número de trenes en línea, BW/CEB en espera, trenes CIP en espera, módulos por tren, bastidores por tren y módulos por bastidor (IntegraPac) en sus respectivos campos de entrada (Figura 5.14).

Además de los caudales, los flujos, las duraciones del modo ultrafiltración y las configuraciones del sistema, hay otras opciones de diseño que pueden especificarse y afectan principalmente al tamaño y al número de tanques de almacenamiento. Estas opciones incluyen:

Opciones de espera. Pueden ser a caudal de salida constante y flujo variable o caudal de salida variable y flujo constante. Opciones de tanque de almacenamiento. Puede ser con o sin tanque de almacenamiento para el filtrado. Esto puede asegurar o no un flujo constante en etapas posteriores del proceso. En caso de no tener tanque de almacenamiento es necesario incluir trenes en espera adicionales. Parte de esta agua filtrada se emplea para realizar el Backwash.



Figura 5.14. Configuración del módulo de ultrafiltración. WAVE cuenta con una tabla de configuraciones recomendadas en función del flujo, la duración del ciclo y la selección del módulo, aunque también se pueden introducir los valores de forma manual. Figura extraída de [19].

Técnicamente WAVE ya es capaz de modelar el sistema de ultrafiltración con la información aportada anteriormente. Sin embargo, también es posible definir los diferentes modos de operación (BW/CEB/CIP) en más detalle.

Para la especificación de Backwash es necesario detallar la temperatura, la duración, el tipo de agua de lavado y de enjuague, que puede ser UF-Filtrado (producto del sistema de UF diseñado por WAVE) o pretratada (agua que ha pasado por el prefiltro, pero no por el sistema de UF), la selección del oxidante y especificación de la dosis (Figura 5.15).

Compl	ration User Settings	Feed Setup Report	Help	â w	Ki/E Answer Center 🛛 🔂 Quick H
Row g g Pressure: p Temperature: 9 Rec g	n Om ¹ /h of Om ¹ /d i Obar X OnC Manage	Add Chemicale/Degat	Compaction RD TDC Rejection	UF TOC Rejection	
Unit	More Cases	Weler Chemistry Adjustments	RD Special Features	UF Special Peatures	
iome Feed Water	UltraVitration Summary Report	t.			
	Backwash				
Design	Backwash Temperature		Viater Type		
Configuration	Use design temperature from feet	f veter: 15.8 °C	Backwash (Vister Type: UF Fibrate	•
Radovash			Forward Plash 1	Water Type: Pretreared	•
CAR	Chidard				
LP Address					
Settings Lease R	* 				
				~	
	Madules Utwittedon SPI-2000		Gross Ribate	Net Filtrate	Durations
	and the second sec				All Convert 20 a
	UP Modules: 1 = 1 Operating Run: 1402 Unit	++ 10-1	44.3 m/h	\rightarrow	- and -
	UP Modeless (x) = (Operating Russ (M2 UPH UP System Recovery: W.2%	CP Tark	Investivation 44.3 mills	Score.	Drain: 30 s
	UP Modules 1 = 1 Operating Russ 1452 (241 UP System Recovery, 14.2% Pand Water Average Fact Rose: 45 mil/h True, 5245m		A 413 miles	Score.	Draine 20 s
R	DB Modular 1 = 1 Operating Nac: 402 UH UB Systems Reservery: IS No Pred Nator Arrays free Nator Table 200 mg/s, Table 200 mg/s, Table 200 mg/s,		Antipation and an antipation and an antipation and and and and and and and an antipation and antipation and antipation and antipation and antipation and antipation antipat	10/100 ₽ 0000	Draine 20 1 Draine 20 1 Top Backwarke 20 1 Remon Radwarke 20 1
UF	Constant and the second s		HE SH mp1, NOO 27% 3 K U.M.		Draine 20 1 Draine 20 1 Top Backwarks 20 1 Retrom Rackwarks 20 1 Porward Planks 20 2
UF	UP Residence 1 ∈ 1 = 5 Conversion Reservery, 14 UN UP System Reservery, 14 UN Prof. Note: 100 ≤ 20 mg/s Tool ≤ 0 mg/s Tool = 0 mg/s T	CP Party Loka 0 15 Lue W W 0 20 Auto 0 40 Auto	House have 44.5 mJ/h Investor valuet 28 421 mg/L HO 20% 2.5 L/h 28 321 mg/L HO 20% 2.6 L/h 48 321 mg/L HO 20% 2.6 L/h	P Vistor	Drain 200 s Drain 200 s Top Bachwark 200 s Batton Bachwark 200 s Perward Plush 200 s

- Figura 5.15. Especificación de *Backwash*. Hay que detallar la temperatura, la duración, el tipo de agua de lavado y enjuague, la selección del oxidante y la especificación de la dosis. Figura extraída de [19].
 - Para la especificación de CEB es necesario introducir los valores de la temperatura, la duración (puede ser la misma que para BW), la selección del ácido (mineral y/u orgánico), la base y el oxidante y la especificación de la dosis (Figura 5.16).



Figura 5.16. Especificación de CEB. Hay que especificar la temperatura, la duración, la selección del ácido, la base y el oxidante y la especificación de la dosis. Figura extraída de [19].

En el caso de la especificación de CIP hay que incluir los siguientes datos: número de pasos de lavado a contracorriente (BW) dentro de un CIP, temperatura, duración, tipo de agua (UF-Filtrado o Pretratada), selección de ácido, base y oxidante y especificación de la dosis. Además, en la pestaña de configuración se puede ajustar el caudal de recirculación (Figura 5.17).



Figura 5.17. Especificación de CIP. Hay que especificar el número de pasos de lavado, temperatura, duración, tipo de agua, selección de ácido, base y oxidante y especificación de la dosis. Figura extraída de [19].

También se pueden modificar algunos parámetros adicionales como ajustes de presión, ajuste de válvulas y especificación de tamaño de tanques (Figura 5.18).

01	- • Untitle	ed Project - Case	1						
The s	Configur	ation User	Settings	Feed Setup	Report	Help	Ξ.	NRVE Answer Center	🗑 Quick Help
Te	Fleve: O gpr O gpr Pressure: O pol mperature: O 17 Flac: O gfd	m ent'h d nt'd ber e ber t bur t bur	Add Case Manage	+ Add Chemicals	Adjustments	Compaction RD TOC Rejection RD Special Features	UF TOC Rejection		
Home	Peed Water	Utrafitnation Su	mmary Report						
	Design	Pressure	adding 15			Power			
0	infiguration	м	aximum Air Scou	r Pressure:	2.0 bar	RLC Power R	equinement per Trains	0.5 kW	
	Seckwash		Films	a Prezeure:	0.5 ber	Value Power Re	epuinement per Valver	o.o. kw	
	028	Nitz	ation Piping Pres	eune Groge	0.4 bar				
8	CIP		Strainer Pre	ISURE Dropi	0.1 ber				
⊷[Additional Settings	Back	wash Riping Pres	eure Orop:	0.5 bar	Valvez			
- ×	Less *		CEP Piping Pre	ssure Grops	0.5 ber		Valves per Train:	6	
		Pressure drops a used for pump a	ire based on use ising	r inputs. Default value	e should not be	Valve Open/V	Close Action Duration:	10 *	
		Tark Storage Para	neters			, <u> </u>			
		Chemica	Storage Time:	30 Dev					
		Backwash Only 1	arik Refil Rate:	0 % 0	f filtrate flew				
		Tark Size Factor							
		SW + Pitzata T	ank:	190 % of computed	minimum				
		Bits Only T	ank:	190 % of computed	1 minimum				
		CIP T	ank:	290 % of module v	olume				

Figura 5.18. Especificación de parámetros adicionales. Figura extraída de [19].

Una vez todos los datos están correctamente especificados, WAVE puede modelar el sistema generando un informe en el que se detallan todos los resultados obtenidos.

5.5. Ósmosis inversa

Además de permitir el diseño de sistemas de ósmosis inversa, WAVE también es capaz de diseñar sistemas de nanofiltración. El diseño de un sistema de nanofiltración es similar a uno de ósmosis inversa con la diferencia del tipo de membrana empleado. En el caso de sistemas de ósmosis inversa, las membranas a elegir son las que contiene el software disponible para dicho fin. De manera similar ocurre con las membranas de nanofiltración, las cuales están habilitadas para sistemas de nanofiltración.

Para diseñar ambos tipos de sistemas, al igual que en el caso de ultrafiltración, los primeros pasos consisten en seleccionar el icono de RO en la pantalla principal, tras lo cual aparece una pestaña en la que pone "Ósmosis inversa" de manera análoga al diseño de ultrafiltración, definir el caudal de agua de alimentación o producto, así como especificar las características del agua en cuestión (en la pestaña "Agua de alimentación").

Una vez definidos todos estos datos el siguiente paso consiste en especificar las características del modelo de la siguiente forma:

Número de pasos. WAVE permite la opción de añadir un paso adicional al sistema pulsando en el botón "Añadir paso". Por defecto, WAVE genera un sistema de un único paso (Figura 5.19).



Figura 5.19. Selección del número de pasos. WAVE permite un máximo de 2 pasos. Figura extraída de [19].

Factor de permeabilidad. Se emplea para conocer la pérdida de flujo debido al ensuciamiento. Está definido para cada paso de manera individual y está acotado entre 0,55 y 1,20 (Figura 5.20).

First: Grid Wind Add Charakitak/Uragia Comparation UF TOC Rejection Pressure: Grid Wind Canas Wind Ro Toc Rejection UF Special Features Home Feed Water Manage Wind Canas Wind Ro Toc Rejection UF Special Features Home Feed Water Manage Wind Canas Summary Report Home Feed Water Manage Summary Report Ro <toc rejection<="" td=""> UF Special Features Home Feed Water Manage Summary Report Perfect Field Ro<toc rejection<="" td=""> UF Special Features Manage I & 2 & 2 & 4 & 5 Feed Field Feed Field Perfect Field Ro<toc rejection<="" td=""> UF Special Features Manage I & 2 & 2 & 4 & 5 Feed Field Ro<toc rejection<="" td=""> Species Configuration Feed Field Ro<toc rejection<="" td=""> UF Special Features UF Special Features View Good Ro<toc rejection<="" td=""> Bood Bood Ro<toc rejection<="" td=""> UF Special Features UF Special Features View Good Ro<toc rejection<="" td=""> Ro<toc rejection<="" td=""> Ro<toc rejection<="" td<="" th=""><th>Fill W Cor</th><th>nfiguration Ut</th><th>er Settings</th><th>Feed</th><th>Setup</th><th>Report</th><th>Help</th><th></th><th>8 v</th><th>W/E Answer Center</th><th>Quick He</th></toc></toc></toc></toc></toc></toc></toc></toc></toc></toc>	Fill W Cor	nfiguration Ut	er Settings	Feed	Setup	Report	Help		8 v	W/E Answer Center	Quick He
Pressure: 0 Monge: Adjust final pill Robit Discretion Temperature: 0 Monge: Monge: Monge: Monge: Wate: Out: Monge: Monge: Monge: Monge: Ham: Out: Monge: Special Features UP Special Features UP Special Features Hom: Feed Wate: Manage: Monge: Monge: Special Features UP Special Features Monge: Cases Swemary Report: Monge: Swemary Report: Note: Swemary Report: Monge: Swemary Report: Note: Swemary Report: Note: Swemary Report: Swemary: Swemary: Swemary: Swemary: Swemary: Swemary: Swemary: Conc. Receive: Tead Flow: Case: Swemary: Swemary: </th <th>Flow:</th> <th>⊖ gpm ● m²/h ⊖ gpt ─ m²/d</th> <th>Add Case</th> <th>+ Ada</th> <th>d Chemicals/S</th> <th>Degas</th> <th>Compaction</th> <th></th> <th>UF 1DC Rejection</th> <th></th> <th></th>	Flow:	⊖ gpm ● m²/h ⊖ gpt ─ m²/d	Add Case	+ Ada	d Chemicals/S	Degas	Compaction		UF 1DC Rejection		
Place: of is Utility Cases Vister Chernisty Adjustments RD Special Features UF Special Features Home Feed Water Uitzaffizzation Surmary Report Image: Second Features Configuration Free of Files 973-5 97-6 Mode Factor Galage Free of Files Galage 97-6 97-6 Image: Second Feature Galage Files Galage 97-6 97-6 Image: Second Feature Galage Galage 97-6 97-6 97-6 97	Pressure: Temperature:	0 psi @ bar 0 *⊊ @ *C	Manage	∆ Adj	uct Final pH		RO TOC Rejection				
Notice Output Within the second	Place	⊜gfd ⊛umH Units Mar	Cases	Water	Chemistry A	djustments	RD Special Feats		UF Special Peatures		
System Configuration Provide for the 1 Provide for the 1 System Configuration System Configuration Number of Stages 1 2 1 4 5 Provide for the 1 Provide for the 1 System Configuration System Configuration Number of Stages 1 2 1 4 5 Provide for the 2 System Configuration System Configuration Number of Stages 0 0 1 2 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 <t< th=""><th>Home Feed Wa</th><th>der Ultrafiltration</th><th>Reverse Company</th><th>Summ</th><th>ary Report</th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th></t<>	Home Feed Wa	der Ultrafiltration	Reverse Company	Summ	ary Report						
Prove factor 0.45 Flow factor 0.45 Temperature Design 22.8 Personate Flow 22.3 Conc. Recycle Flow 8 m/h Pressore Flow 9 m/h Pressore Flow 8 m/h </th <th>Ross 1 Add Pass</th> <th>Reverse Osmo Configuration for Pass Number of Stages 0 1 @ 2 0 3</th> <th>sis Pass Con</th> <th>figura</th> <th>rion reed the Recovery</th> <th>~</th> <th>403.33</th> <th>m²/ħ %</th> <th>System Configuration</th> <th></th> <th></th>	Ross 1 Add Pass	Reverse Osmo Configuration for Pass Number of Stages 0 1 @ 2 0 3	sis Pass Con	figura	rion reed the Recovery	~	403.33	m²/ħ %	System Configuration		
Fac 22.1 UPI Temperature Dags 6 Segen Segen 6 2 PV perstage 40 20 2 PV perstage 240 120 Traff Elevertage 5.24 0.24 Reck Press Taxe 2.24 0.20 Reck Press Taxe 2.30 0.34 Reck Press Taxe 0.34 0.30 Rott Pressare (tax) 0.40 0.40 Rott Pressare (tax) 0.30 0.00		Flow Factor	0.85		Perment	e Flow	125	m²/ħ			
Pages Page 2 PV are skape 40 20 2 PV are skape 40 20 1 Stance ZV 6 6 Demot Type 94204440 - Totel Ris or Skape 240 120 Totel Ris or Skape 0.374 0.374 Resk vessel Juniz 0.304 0.00 Koot Press Juniz 0.40 0.00 Koot Press Juniz 0.80 0.00		Temperature Duck	• 22.0] ~	Flux Conc. Re Dypess P	cycle Flow	22.1 0	UNH mi\h mi\h		Conce	ntrate
Stage 1 Stage 2 2 PV per stage 40 20 # .S.B.arc. P2 6 6 Bernerit Tree 6 6 Bernerit Tree 6 7 Tatel Else of State 240 120 Tratel Else of State 240 120 Besk Press, Back 8.34 0.34 Besk Press, Back 8.34 0.34 Besk Press, Back 8.30 0.00		Stages							Fred _		
Image: Provide ProvideProvideProvideProvide Provide Provide Provide Provide Provide Pro			5	loge 1			Stope 2				meate
# Share P 6 6 Benerit Tare Problem 4150 • Beserit Tare Problem 4150 • Table Bis per State 240 120 Beschaus A2 Datio 8.54 0.54 Beschaus A2 Datio 8.54 0.34 Beschaus A2 Datio 8.64 0.00 Rotal Pressure (ac) N/A 8 Pael Press (bar) 0 N/A 'N Carc to Fael 8.80 0.00		# PV per slage		40			20				
Beneral Table MODERAL 4400 Composition Table 56 year (State) 240 1200 Table 56 year (State) 5.94 0.34 Back Assas (Jac) 6.94 0.00 Back Assas (Jac) 0.00 0.00 Back Assas (Jac) 0.00 N/A Freed Press (Jac) 0.00 N/A		# Cluper PV		6			6				
Table Bis per State 240 120 Branchau A2 Dati 8.54 0.54 Back Press Dati 8.80 0.00 Back Press Dati N/A 8 Freed Press Dati 0 N/A Vs Carc to Freed 8.80 0.00		Demant Type Speca	8V3088-4405			•		•			
Bits datas &2 (bac) 8.54 0.54 Back Press (bac) 8.80 0.00 Boot Press (bac) N/A 8 Peed Press (bac) 0 N/A 'N Carc to Freed 8.80 0.00		Tutal Els per Stage		240			120				
Back Press (bac) 0.00 Board Press (bac) N/A 0 Peed Press (bac) 0 N/A '% Core to Freed 0.00 0.00	-	Pre-stage AP (bar)		0.24			0.34				
Board Pressure (lac) N/A 0 Peed Press (lac) 0 N/A % Cenc to Feed 0.00 0.00	DO	Back Press (bar)		0.80			0.00				
Presd Press (bar) 0 H/A % Carc to Freed 0.00 0.00	HU I	Boost Pressure (bar)		AJA.			0				
% Canc to Peed 0.80 0.00		Peed Press (ber)		0			N/A				
		% Canc to Peed		6.80			0.00]		

Figura 5.20. Selección del factor de permeabilidad. Figura extraída de [19].

Número de etapas. Se pueden especificar hasta 5 etapas por paso. Por defecto está asignada una etapa por paso (Figura 5.21).

111 11	wurd Example at 5	urrace of + NO +	W - Case 1					
··· Co	infiguration	User Settings	Feed Setup	Report	Help	- P (WWF Answer Center	Quick He
Figure	Con enh	Add Case	Add Chemicals/	Depas	Compaction	UFTOC Rejection		
Pressure	Opel @ber	Managa	A Adjust Final all		RO TOC Relection			
Flue	อัสร อันษุ		TT					
	Units [H	Cases	Water Chemistry /	- Adjustments	RO Special Peatures	UP Special Peatures		
me Feed W	ater Ultrafiltration	Reverse Osmosis	Summary Report					
	Reverse Osm	osis Pass Con	figuration					
Pass 1	Configuration for Par	00 1	- Freed Flo		473.73	System Computation		
	O 1 @ 2 0	11.04.05	reedric	-	40.00 (14)	n		
	0.0.0		Recover	,	75.0 %			
	flow factor	0.85	Pennest	e Haw	128 m ³ /	h		
	Temperature De	ator • 22.8	lic flax		22.1 UM			
			Conc. Ro	cycle flaw	0 m*)	h		
			Byposs /	low	0 m ³ /	h		ritrate
	Stepn				0			
			Cage 1	_	Stage X	_	Part Part	neate
	# Pil per stag	P	40		20	_		
	# the per P	¥	6		6			
	Element Top	8/V30HR-6401		•		•		
	Total Els per Stag	10	240		120			
_	Pre-stage AP (ba	d	0.34		0.34			
DO	Back Press Dia	4	0.80		0.00			
KU J	Boost Pressure (bar	0	n/A		0			
	Feed Press (ba	0	0		N/A			
	-							

Figura 5.21. Selección del número de etapas. WAVE permite un máximo de 5 etapas. Figura extraída de [19].

Especificación de elementos, número de recipientes a presión y elementos por recipiente. WAVE permite introducir el número de recipientes a presión y el número de elementos en cada recipiente. Elegir el tipo de elemento se puede hacer mediante un desplegable (situado debajo del número de elementos por recipiente) o desde una tabla que contiene información más detallada acerca de las membranas (pulsando en "Especificaciones" situado debajo de "Tipo de elemento") (Figura 5.22).

G	onfiguration Use	r Seitings	Feed Setup	ced Schip Report Eldp 💱 what Answer C							dr 1 kdp
these	Cigan Bulh	Add Case	Add Chomicals/I	юдык	Compac	tion	IF YOC Rejectio	in			
Penant instruction	z⊖pi ⊛har e⊖ni ⊛har	Manage	Adjust Final pH		ROTOCIA	incline					
the	C () (Å (Ø 1M1) UNIS (Marc)	Cases	Water Chemistry A	dustrients	RO Specia	Features	UF Special Fea	stares			
net touly	Alex Michileden 17	terstor Chasarra	Summary Superio								
	Reverse Osmos	is Pass Co	ofiguration								
	- Online in Sector		itan				-Setra Gal	lan den			
Ens.3			Dead the			100 III					
	Mandor of Skipm		10.00100	-		to the second second					
dd Pane	010202	04.05	12 water up			763F (K. 1					
			Product Specifications								
	theritator	iun	Dement	Active Area	Pressure	Row	Rejection(%)	Conc. (ppm)	Salt	Recovery (%)	Diamet
			800 PRO 400	400 (37.2)	150 (10-3)	11,500 (40.50)	99.7	2000	Red	15	8
	Trappation Health	v 20	800 PRO 400	400 (37.2)	190 (10.3)	11,500 (40.52)	99.7	2000	NeCl.	15	÷.
			800 PRD 440	440 (40.0)	150 (10-3)	12,650 (47.0)	99.7	2000	NeCl	15	8
			800 MID 440	440 (40.5)	150 (10-3)	12,450 (47.6)	99.7	2000	ReCl	15	8
	-		BCO PLATINUM 440	440 (40.9)	150 (16.3)	12,650 (47:9)	99.7	3000	NeCl.	15	
	Stegen		BCO PLATINUH 44B	440-140.00	150 (10-3)	12,650 (47.6)	99.7	2000	NeCl.	15	8
		Silver. R.	BCO-400 (ubsorete)	400 (37.2)	150 (10.3)	11,300 (40.30)	99.7	2000	NeCl .	15	
			CLU-4404 (Stokowsky)	440,140,00	150 (34.3)	12,850 (47.9)	99.7	2000	860	15	
	5 IA IN IN IPER	10	X15-440	440,540,00	100 (6:30	12,700,048.10	9900	200	840	15	
	2 Baser PV	_	XLE-4040	87 (8.1)	100 (6.4)	2,400 (9.8)	99.0	500	Sel1	15	
		-	X18-2540	28 (2.6)	100 (6.9)	890 (3.2)	99.0	580	Rec1	15	2.5
-	Element Type	10 V	HRLE-440 (ubsoleta)	440 (40.9)	150 (16.3)	12,650 (47.9)	99.5	2000	NeCl.	15	
_	2003		HRLE-940i (obsolete)	440 (40.00	150 (10.3)	12,650 (47.6)	99.5	2000	Net	15	8
	Yatal (higher Shape)	240	8W30HRL8-#40	440 (40.9)	190 (10.3)	12,650 (47.8)	99.3	3000	Tel:	15	Ó.
			EW30HRLE-#40	440 (40.0)	150 (10.3)	12,650 (47.9)	99.3	2000	Net	15	0
	Pre-stage AP (bac)	9.28	EW3DPR-365 (ubsolete	365 (33.9)	225 (15.5)	9,900 (36)	99.5	2080	Tech 1	15	8
DO	Back Press (bar)	0.10	BW20XFR-400/34	400 (37)	225 (15.5)	11,500 (40)	99.65	2000	NeCl	15	
			PACTORS 400/14	#0E (12)	275 (19.4)	11.500.1000	99.45	2000	541	- 14. 1	
	Fourt Proster: (but)	19(7)	Active Area units: square	e feet isquare o	neteri						
	Lisaittus (bat)		Pressure units: pei (ber) New anit: gallero per d	ey joubic meter	s per dep)					OK.	Cant
			Double-click on a row a	done to select t	he appropriate	product					

Figura 5.22. Los elementos se pueden elegir con ayuda de un desplegable o con la tabla mostrada en la imagen. Dicha tabla incluye información adicional sobre la membrana seleccionada. Figura extraída de [19].

Diseño por etapas interno (ISD). WAVE permite especificar distintos tipos de elementos dentro de un mismo recipiente (Figura 5.23).



Figura 5.23. Diseño de un sistema ISD. En él se pueden escoger distintos tipos de elementos en una misma etapa. Figura extraída de [19].

También se pueden especificar la presión de alimentación, la presión de sobrealimentación y la contrapresión, las cuales tienen un valor de 0 por defecto, y la caída de presión de la etapa previa tiene un valor por defecto de 0,34 bar (Figura 5.24).
C	onliguration User	Settings — Teed Setup	Report Delp		Q 1	WM-Annex Gaster 🛛 🔒 Das R. I	
How Pressors Teamp makes the	SCOper SPan'h Copel Can'N SCopel Star SCOpel Star SCOPI SPIC SCOPI SPINS	Add Case Add Chemic Manage Adjust Final	pH RD 10C lightion	UP YOC	injectie en		
	Units (Hero)	Stages					
iner-bendly	Wolce Uliculi Reditor Ref.	~	Stage 1			Stage 2	
(Tex.)	Reverse Osmosie	# PV per stage	40			20	
dd Pass	Netrol Sain	# Els per PV	6		6		
	therefore	Element Type Specs	ECO PRO 4001	•	· ECO PRO 400		
	Trapendure ing	Total Els per Stage	240			120	
		Pre-stage <u>AP</u> (bar)	0.34			0.34	
	Stages	Back Press (bar)	0.00		0.00 0 N/A		
	1 Minute Acres	Boost Pressure (bar)	N/A				
	# Do per PV	Feed Press (bar)	0				
	Element Trace 19	% Conc to Feed	0.00			0.00	
	Trikal Disport Mapor	240	120				
	Ete-stage AP (ber)	0.15	0.34				
DO	Back Press (bar)	0.40	610				
HU	Hand Hossan (Iva)	N(D)	11				
	Ecol Proc (Her)	н	N/7.				
	Mi Consche Frenk	0.40	0.10				

Figura 5.24. Detalle de las características de la etapa en el que se muestran la presión de sobrealimentación, la de contrapresión, la de alimentación y la caída de presión. Figura extraída de [19].

Otros datos que se pueden modificar son: la recuperación del sistema, la recuperación por etapa (cuando hay más de una etapa), la recirculación del concentrado entre etapas, la recirculación del concentrado entre pasos, baipás de la alimentación y división del permeado (Figura 5.25).



Figura 5.25. Si se pulsa en cualquiera de las casillas marcadas se abre una pestaña en la que se pueden modificar la recuperación por paso, la recirculación y el baipás en caso de que lo haya. Figura extraída de [19].

En caso de ser necesario, el software permite ajustar el pH de la alimentación en cada paso, el pH del producto, realizar una desgasificación, añadir antiincrustante y realizar un análisis de riesgo de incrustaciones (Figura 5.26).



Figura 5.26. WAVE permite ajustar el pH, añadir antiincrustante y realizar una desgasificación. Para ello hay que pulsar en "químicos/desgasif." y se despliega una pantalla como la de la imagen. También se puede realizar un análisis de incrustaciones. Figura realizada por el autor.

Una vez todos los datos están correctamente especificados, WAVE puede modelar el sistema generando un informe en el que se detallan todos los resultados obtenidos.

5.6. Intercambio iónico

El diseño de un sistema de intercambio iónico en WAVE permite dimensionar nuevos sistemas, así como evaluar el diseño de los ya existentes y adaptar las plantas al sistema UPCORE. Para diseñar un nuevo sistema de intercambio iónico es importante entender los datos de entrada para obtener un modelo más preciso y optimizado. Estas entradas incluyen información sobre el caudal de agua de alimentación o de producto, la composición del agua de alimentación (de manera similar a las tecnologías anteriores), los recipientes y el sistema de regeneración, las condiciones de regeneración y el producto.

Una vez introducida esta información, WAVE rellena un informe detallado del diseño de un sistema de intercambio iónico que incluye un diagrama general de flujo del proceso, propiedades de las resinas, tamaño de los recipientes, protocolos de regeneración, calidad del agua y estimación del consumo de productos químicos y energético.

De manera similar a las dos tecnologías anteriores, los primeros pasos para diseñar el sistema de intercambio iónico consisten en especificar el caudal de agua de alimentación o de producto deseado, la recuperación del sistema, las propiedades del agua de alimentación. Además, también hay que especificar el objetivo del modelado, la configuración del tren y la frecuencia de regeneración.

Para seleccionar el sistema de intercambio iónico hay que seleccionar el icono de intercambio iónico (IXS/D para un intercambio iónico de descalcificación/descarbonatación, IXD para uno de

desmineralización, IXMB para uno de lecho mixto o IXCP para uno de pulido de condensado) de la misma forma que lo explicado en el apartado 5.2.6.

En la ventana inicial de intercambio iónico (Figura 5.27) (la cual es igual para los tres casos expuestos) se pueden especificar los siguientes datos:

- Objetivo de la modelización. WAVE puede ser utilizado de tres formas distintas para modelar el sistema de intercambio iónico.
- Diseño de planta nueva. Se calcula el volumen de resina o el ciclo de funcionamiento para cumplir con las especificaciones.
- Evaluar planta existente. De acuerdo con los detalles de la planta existente, se evalúa el rendimiento de la planta en un momento concreto (el tiempo de ejecución está fijado). Alternativamente, el software puede tratar de encontrar el máximo tiempo de ejecución para cumplir con el filtrado especificado y la capacidad de operación de acuerdo con los detalles de la planta existente (el tiempo de ejecución está optimizado).
- Conversión de planta a UPCORE. De acuerdo con el diseño de la planta existente la planta puede ser adaptada para incorporar la tecnología UPCORE. Dado el tamaño del recipiente, se calcula el volumen y el rendimiento de la resina.
- Configuración del tren. Se especifica el número de trenes operando y en espera. En caso de que no haya trenes en espera, se debe elegir entre una de las siguientes opciones:
 - Usar el flujo de alimentación como flujo medio diario del sistema. El caudal de operación será mayor que el especificado, ya que se requiere cierto tiempo de regeneración.
 - Usar el flujo de alimentación para el diseño del depósito. El caudal medio diario será menor que el especificado, ya que se requiere cierto tiempo de regeneración.

En diseños de multisistemas, si no hay trenes en espera, la única opción disponible es la primera.

- Caudal de intercambio iónico. Si de las opciones anteriores se ha escogido la primera, el valor introducido en la página inicial de WAVE corresponde con el flujo diario medio del sistema de intercambio iónico. De manera análoga sucede con la segunda opción, siendo éste el flujo de operación.
- Frecuencia de regeneración. Hay dos opciones para configurar la frecuencia de regeneración:
 - Definir la duración de los ciclos de operación. Es el tiempo que el sistema permanece en funcionamiento entre el final de una regeneración y el comienzo de la siguiente. Calcula el volumen de resina necesario y el tamaño de recipiente recomendado. Puede especificarse en días o en horas.
 - Selección de la velocidad específica (BV/h). Según el caudal de funcionamiento y el valor de la velocidad específica, se fija el volumen de resina y se calcula la duración de los ciclos de operación.
- Opción de subproceso. Para algunas aplicaciones de intercambio iónico, WAVE proporciona capacidades adicionales de modelado de subprocesos, como se muestra en la Figura 5.27.

Fill Configurat	on User	Settings	Feed Setup	Report	Help	1	VIXVE Answer Center	Quick Help
Flows grow god Pressure: pai Temperature: 9F Flue: gfd Units	© m³/h ○ m³/d © bar © 9C © UMH More	Add Case Manage Cases	Add Chemicals	Degas	Compaction RO TOC Rejection RO Special Peatures	UF TOC Rejection	5	
Home Feed Water D(Demin Summ	ary Report						
It Initialization Vessel and Regensation System Rein Selection Bageneration Carditions Model 2 Product 2 P	DX Initial Modeling O Solution Solution Retroff Frain Config # of T # of To # of To Use Hor	ization rjective ant Design e Existing Plan Elent to UPC unation inains-Online: wine-Standby: mate as system	t XE*** 	N F Aut Page © 1	eed Flow Rate omatic: 200 = ansation Trequency angth of Operating Cycle Specific Velocitys	n 18 Haa	rs •	
	Use Flor	mate for vess	l design	IX Der	mineralization		_	
XD		of Traine-Tota	4 1 4 0	Demi	exemization			

IX Process	IX Sub-Processes
IXS/D	Softening SAC (Na) Softening WAC (H) Brackish Softening WAC (H/Na) Dealkalization WAC (H) Dealkalization SBA (Cl) Dealkalization WAC + Softening SAC
	Demineralization
DXMB	RO Permeate Polishing IX Demin Polishing
IXCP	Process HOH Cycle Low Pressure Power (< 140 bar) HOH Cycle High Pressure Power (> 140 bar) HOH Cycle

Figura 5.27. Superior) Pantalla principal de intercambio iónico. Inferior) Subprocesos de intercambio iónico. Se pueden elegir diferentes tipos en función del tipo de intercambio iónico que se vaya a realizar. Ambas figuras extraídas de [19] y modificadas por el autor.

El siguiente paso consiste en definir el tanque y el sistema de regeneración (Figura 5.28) de la siguiente forma:

- Configuración de resina. Se muestran las opciones de disposición de la resina apropiadas dependiendo del proceso y del subproceso de intercambio iónico.
- Sistema de regeneración. El software muestra el número adecuado de recipientes y las opciones del sistema de regeneración en función del subproceso de intercambio iónico y de la disposición de la resina previamente seleccionada.
- Sistema de desgasificación. WAVE permite la opción de incluir un sistema de desgasificación en varias posiciones en relación con los lechos de resina para algunos procesos de intercambio iónico:
 - Después de WAC y antes de SAC
 - o Después de una resina catiónica y antes de otra aniónica
 - o Después de WBA y antes de SBA

La cantidad de desgasificación puede cuantificarse en términos de: porcentaje de eliminación de CO_2 , presión parcial de CO_2 y concentración de CO_2 .

Configura	tion User	r Settings	Feed 5	ietup Report	Help	A	WAVE Answer Center	🖬 Quick
Flow: O gpm O gpd	8 m ¹ /h 0 m ¹ /d	Add Case	+ Add (Chemicals/Degas	Compaction	UF TOC Rejection		
Pressure: () psi Temperature: () 47	© har © °C	Manage	Adjus	t Final pH	RO TOC Rejection			
Hund ()) gild Units	More	Cases	Water C	ternistry Adjustments	RO Special Feature	uF Special Features		
ne Feed Water D	Soft/Dealk D	Demin (26)	49 Polish	Summary Report				
DI Initialization	Vessel an	d Regene	ration S	ystem Selection		Hide II	K.System Diagram	
Vessel and Repeneration	Cation	pernent		Regeneration system Vessel 1:	n			2
System	[WAC]		*	UPCORE		WAC	OEG WDA	
Resin Selection	[WAC] - [54	<1	£	UPD		SAC	SRA SRA	
Conditions	WAC SAC	1				-		
More a	rcan coat		*	Vessel 2:		Departication		Wildle
Product Quality and	Anion			Amberpack		© No		
Regenerant Dose	[WBA]					West		
	[38A] [W8A] - [S8	M]	1	-		Effuent		
	[WBA SBA] [WBA] SBA	1				CO ₂ Partial Press	ne 0 yatra	
	[SAC SBA] FGAC GBA1		-			CO, Concentration	10 mg/L	
						Location		
						C After WAC, Before	SAC	
						After cation resin,	Before anion resin	
						C Hoe Work before	204	

Una vez introducidos estos datos hay que seleccionar la resina que se va a emplear, el volumen y la forma iónica suministrada. Este último no está disponible para todos los casos, depende del tipo de subproceso, el tipo de disposición escogida y el sistema de regeneración seleccionado.

En la pestaña de "Regeneración" se pueden especificar las condiciones de regeneración para las resinas. Estas condiciones pueden ser especificadas tanto para resinas aniónicas como para resinas catiónicas.

WAVE permite seleccionar el regenerante requerido y la temperatura de dosificación. El regenerante puede ser dosificado en un máximo de 3 pasos a tres concentraciones distintas y con dosis distintas, sin embargo, la suma de las dosis debe ser del 100%. En el caso de la resina catiónica que emplea ácido sulfúrico como regenerante, se recomienda condiciones de regeneración basadas en la proporción de calcio y cationes totales en el agua de alimentación.

Por último, se elige la calidad del agua de servicio para el contralavado y la regeneración. La calidad del agua para la regeneración es la usada para la inyección y el enjuague de desplazamiento. Para los pasos de llenado y enjuague rápido se emplea agua de alimentación.

Cuando es requerido, WAVE muestra las opciones de paso 1 (regeneración con ácido) y paso 2 (conversión de la resina a Na) como se muestra en la Figura 5.29.

Configura	tion User	Settings	Feed Setup	Report	Help		ă.	WAVE Answer Center	Quick Hel
Form C gots	anh ann	Add Case	+ Add Chemio	e's Deges	Compa	tion	UP TOC Rejection		
Temperature: 0 45	Q IC	Manage	Adjust Final	101	801004	action			
Units	Mare	Cases	Water Cherrist	ty Adjustments	RO Specia	I Features	UF Special Features		
orne Feed Water D	Soft/Deals Su	mmary Repo							
El Introduction Name i and Regeneration System Manual Manual Regeneration Cost	Regeneration Cator Reset Represent INC (2014) INC (2014	Ition Const Represention C Construction C Construction C Construction C C C C C C C C C C C C C C C C C C C	fitions anditons: Sep 1 Design * Dese Fractions 100 % 0 % 0 % 0 % 0 % 0 %	Coden Ream Rey Regression (%)/Ch (15) Nodek (20 %) Notest (20 %) Notest (20 %) Notest (20 %) Notest (20 %) Notest (20 %) See 1 (See 2) (See 2) See 2 (See 2)	presiden Con ILL -C D controlline 4 % 5 % 1 % 1 % 1 % 1 % 1 % 1 % 1 % 1	done: Sap 2	Hide D	(Spoten Bagram) + Product	

Figura 5.29. Selección del tipo de resina. Con ciertos tipos de resina es necesario un primer lavado con ácido (paso 1) y una conversión de la resina (paso 2) tal como se muestra en la imagen. Figura extraída de [19].

También es posible especificar condiciones de regeneración adicionales como: frecuencia, expansión y duración del contralavado, duración de compactación, velocidad especifica de regeneración, relación de flujo de regeneración SBA/SAC, factor de retención de regeneración, flujo de enjuague de desplazamiento, volumen de enjuague de desplazamiento, volumen de enjuague rápido, recirculación de enjuague rápido y tiempo de sedimentación tal como se muestra en la Figura 5.30.

n	Configura	tion	User Se	attings	Feed Setup	Report	Help	1	WAVE Answer Center	Quick Help
	Row: O gom O god Pressure: O psi	© m²/h ◯ m²/d © bar	0	Add Case	+ Add Chemicals	Degas	Compaction	UF TOC Rejection		
	Temperature: O °F Flux: O gfd Units	а Смн	fore	Cases	Water Chemistry	Adjustments	RO Special Peature	ur Special Peature		
Har	me Feed Water D	X MB Polish	Summ	ary Report						
		Advar	nced R	legenera	ation Condition	ns		Show IX S	estem Diagram	
	DX Initialization	Regene	nation O	anditions		Cation Resin	Canditions Ank	an Resin Conditions		
	Vessel and Regeneration	MB Sep	paration 8	Sackwash Pr	equency (Cycles)	1		1		
	Resin Selection	MB Sep	paration 8	Backwash Ex	gansion (%)	80	0	80		
8	Regeneration Conditions	MB Sep	paration 8	Raciovash Di	uration (min)	40		40		
k Nav	Advanced Regeneration	Compa	ction Dun	ution (min)		0		0		
>>	Equipment	Negen	eration 3p	NECTIC VEROC	uh (pvis)	3.5		3.5		
	Less	SBA/S/	VC Regen	eration Flov	v Ratio	110	0	110		
	Product Quality and Regeneration	Displac	sement Ri	inse Flow		OFege OFege OFege	n Flow 0	GRegen Row Colution Row		
	Dose	Displac	sement Ri	inse Volume	(BV)	2		3		
		Fast Fi	nae Volun	me (BV)		5	0	5		
		Past R	тан Песул	cle		None		None		
	IVMD					O After 3	min C	After 3 min		
	IVIND					0 N	0) rul		
		Setting	3 Duration	n (min)		ũ		0		

Figura 5.30. WAVE también permite la especificación de parámetros adicionales como la frecuencia, expansión y la duración del contralavado, duración de compactación, entre otras. Figura extraída de [19].

Otro parámetro que se puede modificar es las características del equipo de intercambio iónico: pérdida de carga típica de los distribuidores internos, pérdida de carga típica de las tuberías externas, presión del efluente, y temperatura del tanque de almacenamiento de productos

químicos. Si se selecciona regeneración externa en intercambio iónico de lecho mixto (IXMB) o de pulido de condensado (IXCP), además de las características anteriores también se muestran características del equipo externo de regeneración, como se indica en la Figura 5.31.

Configurati	on Use	r Settings	Feed Setup	Report	Help	¥	WW/E Answer Center	Quick Hel
Flow: O gom O god	● m ¹ /h ○ m ¹ /d	Add Case	Add Chemicals	/Degas	Compaction	UF TOC Rejection		
Pressure: O psi Temperature: O ºF Flux: O afd	© bar © °C	Manage	Adjust Final pH		RD TOC Rejection			
Units	More	Cases	Water Chemistry	Adjustments	RO Special Features	UF Special Features		
ome Feed Water IX	MB Polish Sk	immary Report						
	Esternal	Descention	ten Monale			inde two-	ter Diserve	
IX Initialization	External Re	Regeneral	tion vessels			Feed	CONTRACTOR OF CONTRACTOR	
Vernel and	accental ro	igenetation squ	aprierit secange			~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~		
Regeneration		Deck	reach forer chameter			[]		
Rasia Calentina		SAC Regener	tation Vessel Diameter	2900				
Nesri Selecice		58A Repene	sation Vessel Diameter	2000		SDA		
Conditions								
Advanced Regeneration	Other Eq	uipment					Product	
Ecternal	Equipment	Settings						
Regeneration & Other	Typical	Pressure Drop of	Internal Distributors:	0.05	ban/distributor			
Equipment	7	rpical Pressure Dr	to of External Piping:	0.18	ban/vexsel			
Less			Effuent Pressure	1.00	bar			
Product Quality								
Regeneration	8.0	k Chemical Storag	ge Tank Temperature:	25.0	*C			
Dose								
IXMB								
-								

Figura 5.31. Características del equipo de intercambio iónico. Si se selecciona regeneración externa hay que indicar las características del equipo de regeneración externo. Figura extraída de [19].

Para concluir con las especificaciones para el diseño de una nueva planta, únicamente falta definir la calidad del producto y la dosis de regeneración detallando los siguientes datos:

- Calidad del efluente. Calidad deseada del agua producida.
- Dosis del regenerante. La dosis de regenerante permite definir los siguientes parámetros para las resinas aniónicas y catiónicas:
 - Factor de seguridad. Define el grado de seguridad que se va a tomar en función de cuan bajo sea este valor. Valores más bajos corresponden a un mayor grado de seguridad. El factor de seguridad final utilizado se basa en la relación entre la capacidad operativa efectiva y la capacidad efectiva teórica. La capacidad operativa efectiva es la relación entre la carga iónica total y el volumen total de resina. Puesto que el volumen de resina puede ajustarse, la capacidad operativa efectiva es menor o igual que la capacidad efectiva teórica por lo que el factor de seguridad final es menor o igual que el valor introducido.
 - Sobrecapacidad WAC/WBA. Cantidad de carga iónica llevada desde la resina WAC/WBA a la resina SAC/SBA.
 - Dosis de regenerante. Masa de regenerante puro por volumen de resina SAC/SBA.
 - Ratio de regeneración. Nivel de regeneración expresada en porcentaje de la capacidad operativa de WAC/WBA.
- Efluente de agua neutra. WAVE permite neutralizar el flujo de residuos de intercambio iónico, donde se anulan los valores de dosis de regenerante para conseguir un efluente con pH neutro.
- Cálculo de sobre agotamiento. Para las parejas de resinas WAC/SAC y WBA/SBA en desmineralización, WAVE calcula la sobrecapacidad para incrementar la carga en la resina fuerte para incrementar la fuga iónica de la resina débil. Dependiendo de la opción previamente especificada, WAVE ajusta la sobrecapacidad para que:
 - La cantidad total de productos químicos satisface la relación mínima estequiométrica recomendada. Cuando la duración de los ciclos de operación y la dosis de regenerante están especificadas, respectivamente, en la pestaña de

"Inicialización de IX" y en la de "Calidad de producto y dosis de regeneración", WAVE calcula la cantidad de regenerante requerida basada en la resina fuerte. Sin embargo, la mayoría de los iones son retenidos por la resina débil. Si no hay suficiente regenerante al pasar la resina débil, entonces WAVE "sobrecarga" para incrementar la carga en la resina fuerte y la cantidad total de regenerante necesario. WAVE ajusta la sobrecapacidad para que haya suficiente producto químico para asegurar que ambas resinas están bien regeneradas.

- Minimizar el volumen total de resina (combinación resina fuerte-débil). Cuando la duración de los ciclos de operación y la ratio de regeneración son especificados, respectivamente, en la pestaña de "Inicialización de IX" y en la de "Calidad de producto y dosis de regeneración", la cantidad de regenerante es dada por la carga iónica y la ratio de regeneración. En este caso, WAVE ajusta la sobrecapacidad para minimizar el volumen total de resina.
- Comparar el tiempo de operación de la resina débil y la resina fuerte. Cuando la duración de los ciclos de operación está determinada, WAVE ajusta la sobrecapacidad para que el tiempo de operación de la resina débil sea similar al de la resina fuerte.
- > Optimización de la dosis. El diseño se puede optimizar de dos formas diferentes:
 - Optimizar la dosis química. Se calcula la concentración óptima de regenerante para alcanzar la concentración objetivo. Si no se realiza la optimización de la dosis, aparecerá una advertencia en el informe si el diseño no alcanza la calidad objetivo. Si se añade más regenerante del necesario, la calidad del agua producto en el informe es superior a la requerida y la dosis puede ser ajustada manualmente.
 - Optimizar el diseño para minimizar el consumo de productos químicos al mismo tiempo que cumple con la longitud de operación, las fugas, la estequiometría y las restricciones hidráulicas.

En la Figura 5.32 se puede observar todo lo descrito anteriormente.

Configurat	ion User	Settings	Feed Setup	Report	Help	A	WAVE Answer Center	Quick I	
Flow: Ogon Ogod Pressure: Opsi	enn'h ⊙nn'N ∎bar	Add Case	Add Chemicals	Degas	Compaction	UF TOC Rejection			
Temperature: 0 % Fluc: 0 gfd Units	IMH Mane	Cases	Water Chemistry) Adjustments	RO Special Features	UF Special Features	satures		
kome Feed Water IX	Demin Summ	ary Report							
	Final Para	ameter Ad	justments			Show D	CSystem Diagram		
Di Initialization	-Adjustment PA	rameter	Vessel 1		Vessel 2				
Wessel and Regeneration System	Adjusted Per	ameter	SA DOWEX MARK H	E (THON 1280	WDA DOVIEX MARATHON 9	680	SEA DOWEX INARATHON 428	00	
Resin Selection	Resin volume.	as delivered (L)	122	90	6722		6728		
Regeneration Conditions	Vessel Outer D	iameter (nm)	260	10		2600			
Minor V	Reain Bed Heig	/rc							
	as delivere	d(mm)	2361	.81	1293.71		1292.94		
Product Quality and	Reference	Height(mm)	2186	.85	1293-71		1292.54		
Regenerant.	as regener	(mm) beta	2361	41	1552.45		1590.32		
End Superior	as exhaust	ed (mm)	2245	34	1492.74		1514.59		
Adjustments	Inert Resin vol	ume (l.)	143	5	٥		0		
	Inert Bed Heig	(mm) at	27	5	274.58		274.58		
	Vessel Cylindri	cal Height (mm)	260	17	1977	3792	1915		
_	Veccel Wall Th	ickness (mm)	11			11			
	Pressure Drop	(her)	1.3	2	1.27		0.67		
	with record	mended quantity	(
	Resin Packagin	g Size (l.)	1		1		1		
	· Una Vaccal	Geometry and R	lesin Volume values () Line Veccel Ge	ametry values,ignore Resin V	starse values 🔅 lignere	Vessel Geometry and Resin	Volume value	

Figura 5.32. Definición de la calidad del producto y la dosis de regeneración. Figura extraída de [19].

Si se selecciona la opción de "Evaluar planta existente" o "Conversión de planta a UPCORE" durante la descripción del objetivo de modelización aparece una pestaña de "Descripción de la planta existente" donde se puede especificar el volumen de resina, diámetro del recipiente, altura del lecho inerte (sólo para algunos sistemas de regeneración), altura cilíndrica del recipiente, espesor de la pared del recipiente y tamaño del empaquetado de resina.

Después de ejecutar el informe, si se vuelve a cualquiera de las pantallas de los procesos de intercambio iónico aparecerá la opción de ajustes finales de parámetros. En ella se pueden afinar el volumen de resina, el diámetro del recipiente, la altura cilíndrica del recipiente, el espesor de la pared del recipiente y el tamaño del envase de resina (Figura 5.33).

Finalmente, se debe seleccionar una de las siguientes tres opciones:

- Usar valores de geometría del recipiente y volumen de resina. Se utiliza el volumen de resina y el diámetro del recipiente especificados.
- Usar valores de geometría del recipiente e ignorar valores del volumen de resina. WAVE emplea la geometría del volumen del recipiente especificado y lo llena con resina. El volumen de resina no se ajusta a la duración del ciclo sino a las dimensiones del recipiente.
- Ignorar valores de geometría del recipiente y volumen de resina. El software ignora todos los volúmenes de resina que hayan sido introducidos y el tamaño del recipiente y recalcula el volumen de resina sugerido y el tamaño de acuerdo con las especificaciones del usuario.

🔍 🔹 Configurat	ion User	Settings	Feed Setup	Report	Help	18 V	W//E Answer Center	Quick)
Rev: 0 gpn 0 gpd	© m²/h ⊙ m²/d	Add Case	Add Chemicals/	Degas	Compaction	UF TOC Rejection		
Temperature: 0 17 Familie off	O NC	Manage	Adjust Final pH		RO TOC Rejection			
Units	Mane	Cases	Water Chemistry A	djustments	RO Special Peatures	UP Special Peatures		
IX Initialization Vessel and Ragewardon System Rasin Selector Ragewardon Conditions More gi Product Quality	Product Cation Real Effluent Q Na or Conductivit	Quality an Regeneration with Average 0.1 V 1.08	End Point	Dose Arien 1 - Office SiO ₆ & Organ	Ausin Regeneration et Quality Average End Po 842 0 ics rol 20	Show IX	System Diagram	
Appresst Door	Regenerar SAC Safety WAC Safet WAC Safet WAC Over HCI Dose Or Regene	t Dose Fector y Factor un ration Ratio	0.95 0.95 0.96 0.96 0.96 0.96 0.95	Reger SBA S WBA S WBA C NeOH Or Re	ney search Dose afely Factor Cose afely Factor Cose Cose Cose Cose Cose Cose Cose Cose	0.96 0.96 0.96 0.96 0.96 0.96 0.96 0.96		
	Neutral Wa	de Effuert ánd 🛛	Required (will overrid	e dose inputs)	Overun Co Mercel	Putation D Automatic C	ose Optimization	mide dase in

Figura 5.33. Una vez se ha generado el informe se puede realizar un ajuste final de parámetros. Esto permite afinar el volumen de resina, el diámetro del recipiente, la altura cilíndrica del recipiente, el espesor de la pared del recipiente y el tamaño del envase de resina. Figura extraída de [19].

Una vez todos los datos están correctamente especificados, WAVE puede modelar el sistema generando un informe en el que se detallan todos los resultados obtenidos.

Para el modelado de este sistema de ósmosis se han introducido los datos relacionados con la calidad del agua en base a lo explicado en el apartado 5.5.

En primer lugar, se ha especificado el caudal de agua de alimentación, que tiene un valor de 0,6 m³/h. El tipo de agua escogido ha sido permeato RO/NF ya que el agua de alimentación utilizada no es el agua bruta procedente de la planta minera sino un agua ya tratada a la cual se le han eliminado todos los metales con los que WAVE no puede trabajar (Fe, Ni, Zn ...) como se puede observar en la Figura 6.1.



Figura 6.1. Pantalla inicial de WAVE con los datos del agua introducidos. Se ha seleccionado como subtipo de agua "Permeado RO/NF" y un caudal de alimentación de 0,6 m³/h. Figura realizada por el autor.

A continuación, se ha especificado de forma más detallada las características del agua en la pestaña "Agua de alimentación" usando los valores mostrados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** En WAVE el agua debe ser eléctricamente neutra por tanto hay que balancear el agua con ayuda de iones. En este caso, presentaba déficit de cationes por lo que se ha balanceado añadiendo cationes Na⁺ producto de la neutralización posterior a la eliminación de los metales con objeto de mantener el pH del agua en 7. La diferencia entre el agua de alimentación y el agua equilibrada se puede observar en la Tabla 6.1.

	Composición de	l agua de entrada	
Cationes	(mg/L)	Aniones	s (mg/L)
Ca^{+2}	221	SO_4^{-2}	13429
Mg^{+2}	394	CO_3^{-2}	660
	Descripción	de la solución	
TDS (mg/L)	14704	pН	0,85
	Composición de	l agua equilibrada	
Cationes	(mg/L)	Aniones	s (mg/L)
Ca^{+2}	221	SO_4^{-2}	13429
Mg^{+2}	394	CO_3^{-2}	4,38
Na^+	5662	HCO ₃ -	611,62

Tabla 6.1. Comparación entre el agua de alimentación y el agua balanceada.

	Neutros	(mg/L)		
CO	2	39	9,68	
	Descripción de	e la solución		
TDS (mg/L)	20322,52	pH	6,97	

El último paso consiste en definir el sistema. Éste consta de dos pasos, en el primero se ha realizado un proceso de nanofiltración con el objetivo de hacer una primera separación de los sulfatos. Las membranas que se han escogido son NF270-400/34i, la cual se ha usado como base para el análisis de sensibilidad, NF90-400/34i, NF90-4040, NF200-4040 y NF270-4040. La membrana escogida como base se ha tomado debido a que tiene un alto porcentaje de rechazo de sales y un bajo consumo energético.

El segundo paso consiste en un proceso de ósmosis inversa en el que se adecúa el agua para que cumpla con la condición de diseño, un máximo de 500 mg/L en el permeado. Para ello se han usado dos tipos de membrana, RO-390-FF y RO-4040-FF, en conjunto con las anteriores.

Las características de dichas membranas se muestran en el Anexo A [21].

Una vez escogidas las membranas, se determina el flujo máximo a partir de un catálogo de Dupont mostrado en la Figura 6.2.

El agua empleada es permeado RO/NF, por lo que el flujo máximo es 28 gfd (48 LMH).

Feed Source		RO	Well		Surfa	ce Water			Was	stewater			Se	awater	
		Permeate	Water					(Filter	red Municipa Ef	l Effluent or fluent)	Industrial				
				With DuPont UF + B-free	Ultrafiltration	Generic membrane filtration or advanced conventional pretreatment	Generic conventional pretreatment	With DuPont UF + B-free	Ultrafiltration	Generic membrane filtration (MBR/MF/UF)	Conventional pretreatment	With DuPont UF + B-free	Well or Open Intake with Ultrafiltration	Open Intake with generic membrane filtration or advanced conventional pretreatment	Open Intake with generic conventional pretreatment
Feed Silt Densi (%/min)	ity Index	SDI <1	SDI < 3	SDI < 2.5	SDI < 2.5	SDI < 3	SDI < 5	SDI < 2.5	SDI < 2.5	SDI < 3	SDI < 5	SDI < 2.5	SDI < 2.5	SDI < 3	SDI < 5
Maximum Eler Recovery (%)	ment	30	19	20	19	17	15	15	14	13	12	16	15	14	13
Active Membr	ane Area						N	laximum I	Permeate Flow	r, gpd					
365-ft ² elemen	its	10,200	8,500	8,900	8,500	7,200	6,600	6,600	6,300	5,900	5,200		— Not Rea	commended -	-
370-ft ² elemen	ts	10,200	8,500	8,900	8,500	7,200	6,600	6,600	6,300	5,900	5,200	8,100	7,800	7,400	7,000
380-ft ² elemen	nts	10,700	8,900	9,300	8,900	7,500	6,900	6,800	6,500	6,000	5,300	8,200	7,900	7,600	7,200
390-ft ² elemen	nts	10,920	9,200		— Not Rec	ommended -	-		— Not Re	commended			— Not Rea	commended -	-
400-ft ² elemer	nts	11,200	9,300	9,700	9,300	7,900	7,300	7,100	6,800	6,400	5,700	8,800	8,400	8,000	7,600
440-ft ² elemer	nts	12,300	10,300	10,700	10,300	8,700	8,000	8,000	7,600	7,100	6,300	9,600	9,200	8,800	8,360
Design Flux R: (lmh)	ange, gfd	21 - 25 (36 - 43)	16 - 20 (27 - 34)	17 - 21 (29 - 36)	16 - 20 (27 - 34)	13 - 17 (22 - 29)	12 - 16 (20- 27)	12 - 16 (20- 27)	11 - 15 (19- 26)	10 - 14 (17 - 24)	8 - 12 (14 - 20)	10 - 12 (17 - 21)	9 - 11 (15 - 19)	8 - 10 (14 - 17)	7 - 10 (12 - 17)
Max. Element (lmh)	Flux, gfd	28 (48)	22.7 (39)	24 (41)	22.7 (39)	20 (34)	18 (31)	18 (31)	17 (29)	16 (27)	14 (24)	22 (38)	21 (36)	20 (34)	19 (32)
Element Type							Minimur	n Concent	rate Flowrate ,	, gpm (m³/h)					
BW/NF element	nts (365 ft²)	10 (2.3)	13 (3.0)	13 (3.0)	13 (3.0)	13 (3.0)	15 (3.4)	16 (3.6)	16 (3.6)	16 (3.6)	18 (4.1)		— Not Rec	commended –	-
BW/NF element and 440 ft ²)	nts (400 ft ²	10 (2.3)	13 (3.0)	13 (3.0)	13 (3.0)	13 (3.0)	15 (3.4)	18 (4.1)	18 (4.1)	18 (4.1)	20 (4.6)		— Not Rea	commended -	-
Mesh-wrap ele	ements ‡	25 (5.7)	25 (5.7)		25 (5.7)			25 ((5.7)			— Not Rec	commended –	-
Hypershell ^{™‡}		20 (4.5)	20 (4.5)		20 (4.5)			20 ((4.5)			— Not Rec	commended -	-
SW elements		10 (2.3)	- NR-		— Not Rec	ommended -	-		— Not Re	commended —		13 (3.0)	13 (3.0)	14 (3.2)	15 (3.4)
Element Type	Active Area ft ² (m ²)						Maxi	mum Feed	d Flowrate , gp	m (m³/h)					
BW elements	365 (33.9)	65 (15)	65 (15)	65 (15)	65 (15)	63 (14)	58 (13)	52 (12)	52 (12)	52 (12)	52 (12)		— Not Rea	commended -	-
BW/NF elements	400 (37.2)	75 (17)	75 (17)	75 (17)	75 (17)	73 (17)	67 (15)	61 (14)	61 (14)	61 (14)	61 (14)		— Not Rea	commended -	-
BW elements	440 (40.9)	75 (17)	75 (17)	75 (17)	75 (17)	73 (17)	67 (15)	61 (14)	61 (14)	61 (14)	61 (14)		— Not Rec	commended -	-
Mesh-wrap elements ‡	390 (36.2)	115 (26)	110 (25)		110	(25)			105	(24)			— Not Rec	commended -	-
Hypershell ^{™‡}	390 (36.2)	105 (24)	100 (23)		100	(23)			95	(21)			— Not Rec	commended -	-
SW elements	370 (34.4)	65 (15)	- NR-		- Not Rec	ommended -	-		— Not Re	commended -		63 (14)	63 (14)	60 (13.5)	56 (13)
SW elements	380 (35.3)	72 (16)	- NR-		- Not Rec	ommended -	-		— Not Re	commended -		70 (16)	70 (16)	66 (15)	62 (14)
SW elements	400 (37.2)	72 (16)	- NR-		- Not Rec	ommended -	-		- Not Re	commended -		70 (16)	70 (16)	66 (15)	62 (14)

Figura 6.2. Guía de diseño para elementos de 8 in en aplicaciones de tratamiento de agua. Figura extraída de [20].

Conociendo el flujo máximo se ha determinado la recuperación máxima posible por la membrana de nanofiltración, la cual tiene un valor de 60,36% y permanece constante a lo largo del estudio.

Una vez determinada la recuperación del primer paso y escogidas las primeras membranas, una combinación de NF270-400/34i y RO-390-FF, se ha resuelto el sistema para todas las combinaciones de número de etapas y número de elementos que cumplan las especificaciones de diseño (Anexo B).

Analizando los valores obtenidos se ha determinado que la combinación que da lugar a la mayor recuperación es aquella cuyos parámetros se muestran en la Tabla 6.2.

	NF270-4	00/34i-RO-390-FF	
Caudal alimentación (m ³ /h)	0,6	Número de pasos	2
Caudal permeado (m ³ /h)	0,3	Número de etapas (1)	1
Recuperación (%)	50,1	Número de etapas (2)	1
Área activa (1) (m ²)	37,2	Número de elementos (1)	1
Área activa (2) (m ²)	72,5	Número de elementos (2)	2

Tabla 6.2. Parámetros de la combinación seleccionada.

Para obtener el informe definitivo se introducen los datos de la Tabla 6.2 en la pestaña "Ósmosis inversa" de WAVE como se indica en las Figura 6.3 y Figura 6.4.



Figura 6.3. Datos introducidos en el primer paso. Figura realizada por el autor.

File - Co	nfiguración Aj	ustes de usuario	Agua de alimenta	ción Informe Ay	uda 💡 Centro de 1	respuestas 🛛 🕄 🗙
Caudal	⊖gpm ⊛m³/h ⊖gpd ⊖m²/d	Añadir caso	- químicos/desgasif	Compactación	Rechazo TOC UF	
Presión: Temperatura	○ psi ● bar ○ 9F ● 9C	Administrar	Ajustar pH final	Rechazo TOC RO	~ ~	
HUJO	Unidades [Más Casos	Ajustes agua	RO - Propiedades especiales	UF - Propiedades especiale	
Inicio Agua de	alimentación Osmosis	Inversa Informe re	sumido			
Paso 1 Paso 2	Configuración d Configuration for Pass 2	del paso de osn	Caudales Caudal alimentaci	án 0.36 m*/h	Configuración del sistema	
	Factor permeabilidad	1.00	Conversion Caudal permeado Flujo	0,3 m*/h		
	Comperatura User	, · 23,0 °C	Caudal recirculaci	án 0 m²/h		
	Contrapresion de par	60 0,00 Car	Bypass	0 m²/h		Concentrate
	Etapas		Etapa 1			
	Nº. Tubos/Etapa		1			
	Nº. Elementos/Tubo		2			
	Tipo de elemento Especificaciones	RO-390-FF		•	_	
	Nº. Elementos/Etaps		2			Concentrate
	Pre-stage AP (bar)		0,31			
DO	Stage Back Press (bar)		0,00			Permeate
KU I	Boost Press (bar)		N/A			
	Feed Press (bar)		0			
	% de conc. a alim.		0,00]	
	Fector permeabilidad		1,00			
IDINT	•	0	2019 DuPont de Nemour	s Inc. Todos los derechos reserva	dos. Water Applicati	on Value Engine 👩

Figura 6.4. Datos introducidos en el segundo paso. Figura realizada por el autor.

Los resultados del informe definitivo muestran datos como el caudal, la presión y la TDS de cada corriente, además de una breve descripción del sistema de ósmosis, los flujos a nivel de etapa y las concentraciones específicas de solutos en cada paso.

En la Tabla 6.3 se muestran los valores obtenidos de caudal, presión y TDS de cada corriente. Las corrientes se encuentran numeradas como indica la Figura 4.1.

Descripción	Caudal (m ³ /h)	TDS (mg/L)	Presión (bar)
Alimentación a RO (1)	0,6	20323	0
Alimentación neta al	0,6	20337	16
paso 1 (2)			
Concentrado total del	0,24	47069	15,7
paso 1 (4)			
Permeado total del paso	0,36	2774	0
1 (6)			
Producto neto del	0,3	386,5	0
sistema RO (9)			
Alimentación (neta) al	0,36	2775	5,3
paso 2 (2A)			
Concentrado total del	0,06	14344	5
paso 2 (4A)			

Tabla 6.3. Resultados caudales, presión y TDS.

En la Tabla 6.4 se recoge una descripción del sistema de ósmosis diseñado.

Tabla 6.4. Descripción del sistema.

Paso	Paso 1	Paso 2
Tipo de agua	Permeato RO/NF	RO Permeate
Número de elementos	1	2
Área activa total (m^2)	37,2	72,5
Factor de permeabilidad	0,85	1
Flujo promedio por paso (gfd)	5,7	2,4
Tasa de conversión del paso (%)	60	83,3
Promedio de la pérdida de carga (bar)	3,8	1,2

Paso	Paso 1	Paso 2
Energía específica (kWh/m ³)	1	0,23
Temperatura (°C)	25	25
pH	7	7,2
Recuperación del sistema de RO (%)	5	0,1
Coste específico de agua (€/m ³)	0,	854

Por último, se muestran las concentraciones de cada ion en las corrientes de alimentación, permeado y concentrado, recogidas en la Tabla 6.5.

Tabla 6.5. Concentración de cada ion en las corrientes de alimentación, permeado y concentrado de cada paso.

	Co	oncentraciones (m	g/L)			
	Alime	ntación	Conce	entrado	Perm	neado
	Paso 1	Paso 2	Paso 1	Paso 2	Paso 1	Paso 2
$\mathrm{NH_4^+}$	0	0	0	0	0	0
K^+	0	0	0	0	0	0
Na^+	5663	854,2	12991	4432	854,3	118
Mg^{+2}	394	4,03	988,4	22,13	4,03	0,31
Ca^{+2}	221	2,17	554,5	11,91	2,17	0,16
Sr^{+2}	0	0	0	0	0	0
Ba^{+2}	0	0	0	0	0	0
CO3 ⁻²	4,38	1,12	10,52	37,03	1,12	0,02
HCO ₃ -	611,6	509,1	765,9	2468	509,1	93,13
NO ₃ -	0	0	0	0	0	0
F-	0	0	0	0	0	0
Cl-	0	0	0	0	0	0
Br ⁻	0	0	0	0	0	0
SO_4^{-2}	13429	1403	31758	7373	1403	174,8
PO_4^{-3}	0	0	0	0	0	0
SiO_2	0	0	0	0	0	0
Boron	0	0	0	0	0	0
CO_2	39,68	37,23	44,3	52,57	37,23	38,74
TDS	20323	2774	47069	14344	2774	386,5
pН	7	7,2	6,9	7,5	7,2	6,5

Para continuar el análisis de sensibilidad se ha seguido un procedimiento similar usando la combinación anterior, pero modificando el tipo de membrana empleado. Los resultados del análisis están recogidos en la Tabla 6.6 y Tabla 6.7.

Tabla 6.6. Resultados caudales, presión y TDS para el resto de las combinaciones de membranas.

	NF90-400/34	i-RO-390-FF	
Descripción	Caudal (m ³ /h)	TDS (mg/L)	Presión (bar)
Alimentación a RO (1)	0,6	20323	0
Alimentación neta al paso 1 (2)	0,6	20339	17,4
Concentrado total del paso 1 (4)	0,24	48760	17
Permeado total del paso 1 (6)	0,36	1660	0
Producto neto del sistema RO (9)	0,31	222,1	0
Alimentación (neta) al paso 2 (2A)	0,36	1661	3,8
Concentrado total del paso 2 (4A)	0,05	10107	3,5

	NF90-4040-	-RO-390-FF	
Descripción	Caudal (m ³ /h)	TDS (mg/L)	Presión (bar)
Alimentación a RO (1)	0,6	20323	0
Alimentación neta al	0,6	20352	32,2
paso 1 (2)	,		,
Concentrado total del	0,24	50446	31,9
paso 1 (4)	,		,
Permeado total del paso	0,36	565,1	0
1 (6)			
Producto neto del	0,34	29,57	0
sistema RO (9)			
Alimentación (neta) al	0,36	565,2	2,5
paso 2 (2A)			
Concentrado total del	0,02	565,1	2,2
paso 2 (4A)			
	NF200-4040	-RO-390-FF	
Alimentación a RO (1)	0,6	20323	0
Alimentación neta al	0,6	20355	36,6
paso 1 (2)			
Concentrado total del	0,24	50580	36,3
paso 1 (4)			
Permeado total del paso	0,36	500,3	0
1 (6)			
Producto neto del	0,34	26,74	0
sistema RO (9)			
Alimentación (neta) al	0,36	500,3	2,4
paso 2 (2A)			
Concentrado total del	0,02	500,3	2,1
paso 2 (4A)		D.O. 000 EE	
<u></u>	NF2/0-4040	-RO-390-FF	
Alimentación a RO (1)	0,6	20323	0
Alimentacion neta al	0,6	20350	30,1
paso I(2)	0.24	50000	20.0
Concentrado total del	0,24	50092	29,8
paso 1 (4)	0.26	200.1	0
	0,30	800,1	0
I (0) Draduata nata dal	0.22	122.0	0
rioducio nelo del	0,55	125,9	0
Alimentación (neta) al	0.36	800.1	28
Animentation (neta) an $paso 2(2A)$	0,50	800,1	2,8
Concentrado total del	0.04	6710	2.5
$p_{350} 2 (4A)$	0,04	0710	2,5
	NF270_400/34	i_RO_4040_FF	
Alimentación a $\mathbf{RO}(1)$	0.6	20323	0
Alimentación neta al	0,0	20325	16
naso 1 (2)	0,0	20337	10
Concentrado total del	0.24	47069	15 7
paso 1 (4)	0,24	47007	15,7
Permeado total del naso	0.36	2774	0
1 (6)			v
Producto neto del	0.34	72.63	0
sistema RO (9)	~	,	

Descripción Alimentación (neta) al	Caudal (m ³ /h) 0.36	TDS (mg/L) 2776	Presión (bar) 14.6
paso 2 (2A)	0.02	2776	14.3
paso 2 (4A)	0,02	2110	14,5
	NF90-400/34i	-RO-4040-FF	
Alimentación a RO (1)	0,6	20323	0
Alimentación neta al paso 1 (2)	0,6	20339	17,4
Concentrado total del paso 1 (4)	0,24	48760	17
Permeado total del paso 1 (6)	0,36	1660	0
Producto neto del sistema RO (9)	0,34	36,2	0
Alimentación (neta) al paso 2 (2A)	0,36	1661	11,8
Concentrado total del paso 2 (4A)	0,02	1661	11,5
	NF90-4040-I	RO-4040-FF	
Alimentación a RO (1)	0,6	20323	0
Alimentación neta al paso 1 (2)	0,6	20352	32,2
Concentrado total del paso 1 (4)	0,24	50446	31,9
Permeado total del paso 1 (6)	0,36	565,1	0
Producto neto del sistema RO (9)	0,34	9,42	0
Alimentación (neta) al paso 2 (2A)	0,36	565,3	9,4
Concentrado total del paso 2 (4A)	0,02	565,3	9,1
	NF200-4040-	RO-4040-FF	
Alimentación a RO (1)	0,6	20323	0
Alimentación neta al paso 1 (2)	0,6	20355	36,6
Concentrado total del paso 1 (4)	0,24	50580	36,3
Permeado total del paso 1 (6)	0,36	500,3	0
Producto neto del sistema RO (9)	0,34	8,34	0
Alimentación (neta) al paso 2 (2A)	0,36	500,5	9,4
Concentrado total del paso 2 (4A)	0,02	500,5	9,1
x	NF270-4040-	RO-4040-FF	
Alimentación a RO (1)	0,6	20323	0
Alimentación neta al paso 1 (2)	0,6	20350	30,1
Concentrado total del paso 1 (4)	0,24	50092	29,8
Permeado total del paso 1 (6)	0,36	800,1	0

Descripción	Caudal (m ³ /h)	TDS (mg/L)	Presión (bar)
Producto neto del	0,34	15,33	0
sistema RO (9)			
Alimentación (neta) al	0,36	800,4	10,1
paso 2 (2A)			
Concentrado total del	0,02	800,4	9,8
paso 2 (4A)			

Tabla 6.7. Descripción del sistema para cada combinación de membranas.

NF90-400/34	i-RO-390-FF	
Paso	Paso 1	Paso 2
Tipo de agua	Permeato RO/NF	RO Permeate
Número de elementos	1	2
Área activa total (m ²)	37,2	72,5
Factor de permeabilidad	0,85	1
Flujo promedio por paso (gfd)	5,7	2,5
Tasa de conversión del paso (%)	60	86,1
Promedio de la pérdida de carga (bar)	4,2	1
Energía específica (kWh/m ³)	1,08	0,16
Temperatura (°C)	25	25
рН	7	6,7
Recuperación del sistema de RO (%)	51,	6
Coste específico de agua (€/m³)	0,854	
NF90-4040-	RO-390-FF	
Paso	Paso 1	Paso 2
Tipo de agua	Permeato RO/NF	RO Permeate
Número de elementos	1	2
Área activa total (m²)	7,62	72,5
Factor de permeabilidad	0,85	1
Flujo promedio por paso (gfd)	28	2,8
Tasa de conversión del paso (%)	60	94,4
Promedio de la pérdida de carga (bar)	18,2	1,9
Energía específica (kWh/m ³)	2,03	0,09
Temperatura (°C)	25	25
рН	7	6,3
Recuperación del sistema de RO (%)	57,	3
Coste específico de agua (€/m³)	0,76	53
NF200-4040	-RO-390-FF	
Tipo de agua	Permeato RO/NF	RO Permeate
Número de elementos	1	2
Área activa total (m²)	7,62	72,5
Factor de permeabilidad	0,85	1
Flujo promedio por paso (gfd)	28	2,8
Tasa de conversión del paso (%)	60	94,4
Promedio de la pérdida de carga (bar)	22,5	1,9
Energía específica (kWh/m ³)	2,31	0,09
Temperatura (°C)	25	25
рН	7	6,7
Recuperación del sistema de RO (%)	57,	4
Coste específico de agua (€/m³)	0,79	99

)-RO-390-FF	
Tipo de agua	Permeato RO/NF	RO Permeate
Número de elementos	1	2
Área activa total (m²)	7,62	72,5
Factor de permeabilidad	0,85	1
Flujo promedio por paso (gfd)	28	2,6
Tasa de conversión del paso (%)	60	91,7
Promedio de la pérdida de carga (bar)	16,3	0,7
Energía específica (kWh/m ³)	1,89	0,12
Temperatura (°C)	25	25
βΗ	7	6,9
Recuperación del sistema de RO (%)	54,2	2
Coste específico de agua (€/m³)	0,85	51
NF270-400/34	4i-RO-4040-FF	
Tipo de agua	Permeato RO/NF	RO Permeate
Número de elementos	1	2
Área activa total (m²)	37,2	16,7
Factor de permeabilidad	0,85	1
Flujo promedio por paso (gfd)	5,7	12,1
Tasa de conversión del paso (%)	60	94,4
Promedio de la pérdida de carga (bar)	3,8	13
Energía específica (kWh/m ³)	1	0,59
Paso	Paso 1	Paso 2
Temperatura (°C)	25	25
βΗ	7	7,2
•		
Recuperación del sistema de RO (%)	57,3	3
Recuperación del sistema de RO (%) Coste específico de agua (€/m³)	57,: 0,71	3 .5
Recuperación del sistema de RO (%) Coste específico de agua (€/m³) NF90-400/34	57, 0,71 i-RO-4040-FF	3 5
Recuperación del sistema de RO (%) Coste específico de agua (€/m ³) NF90-400/34 Tipo de agua	57, 0,71 ii-RO-4040-FF Permeato RO/NF	3 5 RO Permeate
Recuperación del sistema de RO (%) Coste específico de agua (€/m³) NF90-400/34 Tipo de agua Número de elementos	57, 0,71 <u>ii-RO-4040-FF</u> Permeato RO/NF 1	3 .5 RO Permeate 2
Recuperación del sistema de RO (%) Coste específico de agua (€/m³) NF90-400/34 Tipo de agua Número de elementos Área activa total (m²)	57,: 0,71 ii-RO-4040-FF Permeato RO/NF 1 37,2	3 .5 RO Permeate 2 16,7
Recuperación del sistema de RO (%) Coste específico de agua (€/m ³) NF90-400/34 Tipo de agua Número de elementos Área activa total (m ²) Factor de permeabilidad	57, 0,71 <u>ii-RO-4040-FF</u> Permeato RO/NF 1 37,2 0,85	3 .5 RO Permeate 2 16,7 1
Recuperación del sistema de RO (%) <u>Coste específico de agua (€/m³)</u> <u>NF90-400/34</u> Tipo de agua Número de elementos Área activa total (m²) Factor de permeabilidad Flujo promedio por paso (gfd)	57, 0,71 <u>ii-RO-4040-FF</u> Permeato RO/NF 1 37,2 0,85 5,7	3 .5 RO Permeate 2 16,7 1 12,1
Recuperación del sistema de RO (%) <u>Coste específico de agua (€/m³)</u> <u>NF90-400/34</u> Tipo de agua Número de elementos Área activa total (m²) Factor de permeabilidad Flujo promedio por paso (gfd) Tasa de conversión del paso (%)	57, 0,71 <u>ii-RO-4040-FF</u> Permeato RO/NF 1 37,2 0,85 5,7 60	3 5 RO Permeate 2 16,7 1 12,1 94,4
Recuperación del sistema de RO (%) <u>Coste específico de agua (€/m³)</u> <u>NF90-400/34</u> Tipo de agua Número de elementos Área activa total (m²) Factor de permeabilidad Flujo promedio por paso (gfd) Tasa de conversión del paso (%) Promedio de la pérdida de carga (bar)	57, 0,71 ii-RO-4040-FF Permeato RO/NF 1 37,2 0,85 5,7 60 4,2	3 .5 RO Permeate 2 16,7 1 12,1 94,4 10,8
Recuperación del sistema de RO (%) <u>Coste específico de agua (€/m³)</u> <u>NF90-400/34</u> Tipo de agua Número de elementos Área activa total (m²) Factor de permeabilidad Flujo promedio por paso (gfd) Tasa de conversión del paso (%) Promedio de la pérdida de carga (bar) Energía específica (kWh/m³)	57, 0,71 <u>li-RO-4040-FF</u> Permeato RO/NF 1 37,2 0,85 5,7 60 4,2 1,08	3 .5 RO Permeate 2 16,7 1 12,1 94,4 10,8 0,47
Recuperación del sistema de RO (%) <u>Coste específico de agua (€/m³)</u> <u>NF90-400/34</u> Tipo de agua Número de elementos Área activa total (m²) Factor de permeabilidad Flujo promedio por paso (gfd) Tasa de conversión del paso (%) Promedio de la pérdida de carga (bar) Energía específica (kWh/m³) Temperatura (°C)	57, 0,71 0,71 <u>ii-RO-4040-FF</u> Permeato RO/NF 1 37,2 0,85 5,7 60 4,2 1,08 25	3 .5 RO Permeate 2 16,7 1 12,1 94,4 10,8 0,47 25
Recuperación del sistema de RO (%) <u>Coste específico de agua (€/m³)</u> <u>NF90-400/34</u> Tipo de agua Número de elementos Área activa total (m²) Factor de permeabilidad Flujo promedio por paso (gfd) Tasa de conversión del paso (%) Promedio de la pérdida de carga (bar) Energía específica (kWh/m³) Temperatura (°C) pH	57, 0,71 ii-RO-4040-FF Permeato RO/NF 1 37,2 0,85 5,7 60 4,2 1,08 25 7	3 .5 RO Permeate 2 16,7 1 12,1 94,4 10,8 0,47 25 6,7
Recuperación del sistema de RO (%) <u>Coste específico de agua (€/m³)</u> <u>NF90-400/34</u> Tipo de agua Número de elementos Área activa total (m²) Factor de permeabilidad Flujo promedio por paso (gfd) Tasa de conversión del paso (%) Promedio de la pérdida de carga (bar) Energía específica (kWh/m³) Temperatura (°C) pH Recuperación del sistema de RO (%)	57, 0,71 0,71 Permeato RO/NF 1 37,2 0,85 5,7 60 4,2 1,08 25 7 57,2 57,2 57,2 57,2	3 5 RO Permeate 2 16,7 1 12,1 94,4 10,8 0,47 25 6,7 3
Recuperación del sistema de RO (%) <u>Coste específico de agua (€/m³)</u> <u>NF90-400/34</u> Tipo de agua Número de elementos Área activa total (m²) Factor de permeabilidad Flujo promedio por paso (gfd) Tasa de conversión del paso (%) Promedio de la pérdida de carga (bar) Energía específica (kWh/m³) Temperatura (°C) pH Recuperación del sistema de RO (%) Coste específico de agua (€/m³)	57, 0,71 0,71 <u>ii-RO-4040-FF</u> Permeato RO/NF 1 37,2 0,85 5,7 60 4,2 1,08 25 7 57, 67, 57, 0,71	3 5 RO Permeate 2 16,7 1 12,1 94,4 10,8 0,47 25 6,7 3 5
Recuperación del sistema de RO (%) <u>Coste específico de agua (€/m³)</u> <u>NF90-400/34</u> Tipo de agua Número de elementos Área activa total (m²) Factor de permeabilidad Flujo promedio por paso (gfd) Tasa de conversión del paso (%) Promedio de la pérdida de carga (bar) Energía específica (kWh/m³) Temperatura (°C) pH Recuperación del sistema de RO (%) <u>Coste específico de agua (€/m³)</u>	57, 0,71 ii-RO-4040-FF Permeato RO/NF 1 37,2 0,85 5,7 60 4,2 1,08 25 7 57, 0,71 	3 .5 RO Permeate 2 16,7 1 12,1 94,4 10,8 0,47 25 6,7 3 .5
Recuperación del sistema de RO (%) <u>Coste específico de agua (€/m³)</u> <u>NF90-400/34</u> Tipo de agua Número de elementos Área activa total (m²) Factor de permeabilidad Flujo promedio por paso (gfd) Tasa de conversión del paso (%) Promedio de la pérdida de carga (bar) Energía específica (kWh/m³) Temperatura (°C) pH Recuperación del sistema de RO (%) <u>Coste específico de agua (€/m³)</u> <u>NF90-4040</u> - Tipo de agua	57, 0,71 Ni-RO-4040-FF Permeato RO/NF 1 37,2 0,85 5,7 60 4,2 1,08 25 7 57, 0,71 •RO-4040-FF Permeato RO/NF	3 .5 RO Permeate 2 16,7 1 12,1 94,4 10,8 0,47 25 6,7 3 .5 RO Permeate
Recuperación del sistema de RO (%) <u>Coste específico de agua (€/m³)</u> <u>NF90-400/34</u> Tipo de agua Número de elementos Área activa total (m²) Factor de permeabilidad Flujo promedio por paso (gfd) Tasa de conversión del paso (%) Promedio de la pérdida de carga (bar) Energía específica (kWh/m³) Temperatura (°C) pH Recuperación del sistema de RO (%) <u>Coste específico de agua (€/m³)</u> <u>NF90-4040-</u> Tipo de agua Número de elementos	57, 0,71 0,71 0,71 Permeato RO/NF 1 37,2 0,85 5,7 60 4,2 1,08 25 7 57, 0,71 •RO-4040-FF Permeato RO/NF 1	3 .5 RO Permeate 2 16,7 1 12,1 94,4 10,8 0,47 25 6,7 3 .5 RO Permeate 2
Recuperación del sistema de RO (%) <u>Coste específico de agua (€/m³)</u> <u>NF90-400/34</u> Tipo de agua Número de elementos Área activa total (m²) Factor de permeabilidad Flujo promedio por paso (gfd) Tasa de conversión del paso (%) Promedio de la pérdida de carga (bar) Energía específica (kWh/m³) Temperatura (°C) pH Recuperación del sistema de RO (%) <u>Coste específico de agua (€/m³)</u> <u>NF90-4040-</u> Tipo de agua Número de elementos Área activa total (m²)	57, 0,71 ii-RO-4040-FF Permeato RO/NF 1 37,2 0,85 5,7 60 4,2 1,08 25 7 57,7 0,71 RO-4040-FF Permeato RO/NF 1 7,62	3 .5 RO Permeate 2 16,7 1 12,1 94,4 10,8 0,47 25 6,7 3 .5 RO Permeate 2 16,7
Recuperación del sistema de RO (%) <u>Coste específico de agua (€/m³)</u> <u>NF90-400/34</u> Tipo de agua Número de elementos Área activa total (m²) Factor de permeabilidad Flujo promedio por paso (gfd) Tasa de conversión del paso (%) Promedio de la pérdida de carga (bar) Energía específica (kWh/m³) Temperatura (°C) pH Recuperación del sistema de RO (%) <u>Coste específico de agua (€/m³)</u> <u>NF90-4040</u> - Tipo de agua Número de elementos Área activa total (m²) Factor de permeabilidad	57, 0,71 0,71 0,71 Permeato RO/NF 1 37,2 0,85 5,7 60 4,2 1,08 25 7 57, 0,71 •RO-4040-FF Permeato RO/NF 1 7,62 0,85	3 .5 RO Permeate 2 16,7 1 12,1 94,4 10,8 0,47 25 6,7 3 .5 RO Permeate 2 16,7 1
Recuperación del sistema de RO (%) Coste específico de agua (€/m³) NF90-400/34 Tipo de agua Número de elementos Área activa total (m²) Factor de permeabilidad Flujo promedio por paso (gfd) Tasa de conversión del paso (%) Promedio de la pérdida de carga (bar) Energía específica (kWh/m³) Temperatura (°C) pH Recuperación del sistema de RO (%) Coste específico de agua (€/m³) NF90-4040- Tipo de agua Número de elementos Área activa total (m²) Factor de permeabilidad	57, 0,71 0,71 Permeato RO/NF 1 37,2 0,85 5,7 60 4,2 1,08 25 7 57, 0,71 •RO-4040-FF Permeato RO/NF 1 7,62 0,85 28	3 .5 RO Permeate 2 16,7 1 12,1 94,4 10,8 0,47 25 6,7 3 .5 RO Permeate 2 16,7 1 12,1
Recuperación del sistema de RO (%) Coste específico de agua (€/m³) NF90-400/34 Tipo de agua Número de elementos Área activa total (m²) Factor de permeabilidad Flujo promedio por paso (gfd) Tasa de conversión del paso (%) Promedio de la pérdida de carga (bar) Energía específica (kWh/m³) Temperatura (°C) pH Recuperación del sistema de RO (%) Coste específico de agua (€/m³) Número de elementos Área activa total (m²) Factor de permeabilidad Flujo promedio del sistema de RO (%) Coste específico de agua (€/m³) Número de elementos Área activa total (m²) Factor de permeabilidad Flujo promedio por paso (gfd) Tasa de conversión del paso (%)	57, 0,71 0,71 0,71 Permeato RO/NF 1 37,2 0,85 5,7 60 4,2 1,08 25 7 57, 0,71 • RO-4040-FF Permeato RO/NF 1 7,62 0,85 28 60	3 .5 RO Permeate 2 16,7 1 12,1 94,4 10,8 0,47 25 6,7 3 .5 RO Permeate 2 16,7 1 12,1 94,4
Recuperación del sistema de RO (%) Coste específico de agua (€/m³) NF90-400/34 Tipo de agua Número de elementos Área activa total (m²) Factor de permeabilidad Flujo promedio por paso (gfd) Tasa de conversión del paso (%) Promedio de la pérdida de carga (bar) Energía específica (kWh/m³) Temperatura (°C) pH Recuperación del sistema de RO (%) Coste específico de agua (€/m³) Número de elementos Área activa total (m²) Factor de permeabilidad Flujo promedio de la sistema de RO (%) Coste específico de agua (€/m³) Stea activa total (m²) Factor de permeabilidad Flujo promedio por paso (gfd) Tasa de conversión del paso (%) Promedio de la pérdida de carga (bar)	57, 0,71 0,71 0,71 Permeato RO/NF 1 37,2 0,85 5,7 60 4,2 1,08 25 7 57, 0,71 	3 5 RO Permeate 2 16,7 1 12,1 94,4 10,8 0,47 25 6,7 3 5 RO Permeate 2 16,7 1 12,1 94,4 8,9
Recuperación del sistema de RO (%) <u>Coste específico de agua (€/m³)</u> <u>NF90-400/34</u> Tipo de agua Número de elementos Área activa total (m²) Factor de permeabilidad Flujo promedio por paso (gfd) Tasa de conversión del paso (%) Promedio de la pérdida de carga (bar) Energía específica (kWh/m³) Temperatura (°C) pH Recuperación del sistema de RO (%) <u>Coste específico de agua (€/m³)</u> <u>NF90-4040</u> - Tipo de agua Número de elementos Área activa total (m²) Factor de permeabilidad Flujo promedio por paso (gfd) Tasa de conversión del paso (%) Promedio de la pérdida de carga (bar) Energía específica (kWh/m³)	57, 0,71 0,71 0,71 Permeato RO/NF 1 37,2 0,85 5,7 60 4,2 1,08 25 7 57, 0,71 •RO-4040-FF Permeato RO/NF 1 7,62 0,85 28 60 18,2 2,03	RO Permeate 2 16,7 1 12,1 94,4 10,8 0,47 25 6,7 3 5 RO Permeate 2 16,7 1 12,1 94,4 8,9 0,38

рН	7	6,3		
Recuperación del sistema de RO (%)	57,3			
Coste específico de agua (€/m³)	0,78	57		
NF200-4040-	-RO-4040-FF			
Tipo de agua	Permeato RO/NF	RO Permeate		
Número de elementos	1	2		
Área activa total (m²)	7,62	16,7		
Factor de permeabilidad	0,85	1		
Flujo promedio por paso (gfd)	28	12,1		
Tasa de conversión del paso (%)	60	94,4		
Promedio de la pérdida de carga (bar)	22,5	8,8		
Energía específica (kWh/m ³)	2,31	0,38		
Temperatura (°C)	25	25		
рН	7	6,7		
Recuperación del sistema de RO (%)	57,4	4		
Coste específico de agua (€/m³)	0,823			
NF270-4040-	-RO-4040-FF			
Tipo de agua	Permeato RO/NF	RO Permeate		
Número de elementos	1	2		
Área activa total (m²)	7,62	16,7		
Factor de permeabilidad	0,85	1		
Flujo promedio por paso (gfd)	28	12,1		
Paso	Paso 1	Paso 2		
Tasa de conversión del paso (%)	60	94,4		
Promedio de la pérdida de carga (bar)	16,3	9,4		
Energía específica (kWh/m ³)	1,89	0,41		
Temperatura (°C)	25	25		
рН	7	6,9		
Recuperación del sistema de RO (%)	57,3	3		
Coste específico de agua (€/m³)	0,78	57		

Una vez obtenidos los resultados para cada combinación de membranas se ha elaborado un gráfico en el que se ha representado la máxima recuperación frente al precio específico (Gráfica 6.1).



Gráfica 6.1. Relación entre la recuperación máxima y el coste asociado a cada combinación de membranas.

Como se puede observar en la gráfica, las combinaciones que consiguen una mayor recuperación a un coste más bajo son aquellas formadas por una primera membrana de nanofiltración NF270-400/34i o NF90-400/34i seguidas de una ósmosis inversa usando una membrana RO-4040-FF. Aunque la combinación de NF270-4040 y RO-4040-FF tenga una mayor recuperación, se considera insuficiente frente al aumento del coste.

7 Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en este Trabajo de Fin de Grado se puede determinar que el software WAVE es relativamente sensible a modificaciones en el tipo de membrana, el número de etapas y el número de elementos por lo que se considera que resulta de gran utilidad tanto para el diseño de un sistema concreto como la comparación de éste con otros sistemas similares con el objetivo de optimizar el diseño.

Según los resultados obtenidos de los ensayos realizados, la configuración de membranas que da una mayor recuperación frente al coste es la que tiene un elemento en la etapa de nanofiltración y dos elementos en la etapa de ósmosis inversa. Las membranas escogidas son NF270-400/34i y NF90-400/34i para el proceso de nanofiltración y RO-4040-FF para el proceso de ósmosis inversa por ser los que tienen una mayor recuperación (un 57,3%) a un menor coste (0,715 €/m³).

Cabe aclarar que los resultados obtenidos durante la elaboración de este trabajo son de carácter orientativo, por lo que es necesario una serie de ensayos prácticos para verificar que los datos obtenidos usando el software son factibles y se pueda emplear este sistema en la industria minera en el tratamiento de AMD.

- [1] J. E. Hernández Delgado, "Evaluación de la eficiencia de la osmosis inversa en una planta de tratamiento de agua residual en la industria minera," 2020.
- [2] P. M. Llecllish Ponte and E. G. Díaz Sheen, "Técnicas de tratamiento de aguas ácidas generadas por la actividad minera," 2022.
- [3] H. Al-Zoubis, R. Haseneder, A. Rieger, P. Steinberger, W. Pelz, and G. Härtel,
 "Optimization study for treatment of acid mine drainage using membrane technology," Sep Sci Technol, vol. 45, no. 14, pp. 2004–2016, 2010.
- [4] Museo Geológico Sernageomin, "El mundo de los minerales. Sulfuros y sulfosales," 1993.
- [5] G. Zamora Echenique and R. Meza Duman, "Formación, prevención e innovación en el tratamiento de drenajes ácidos en operaciones mineras," *Revista de Medio Ambiente Minero y Minería*, vol. 1, pp. 3–21, Jun. 2022.
- [6] M. Arumí Rovira, "Acidithiobacillus ferrooxidans Microbiologia para humanos," 2020.
- [7] A. E. de los M. Alcázar Barrera, "Tecnologías de Remediación Para Mitigar los Potenciales Impactos Ambientales Generados por Drenaje Ácido de Minas: Revisión Sistemática," 2022.
- [8] M. Arazola Martínez, "Depuración de agua mediante el aprovechamiento de energía eléctrica producida en invernaderos," 2019.
- [9] A. Romero López, "Diseño de una planta desaladora de agua de mar, por osmosis inversa, en el Campo de Dalías (Almería), aprobada por el Plan Hidrológico Nacional, para paliar la sobrexplotación de los acuíferos y mejorar la calidad de sus aguas," 2008.
- [10] T. Martín Blas and A. Serrano Fernández, "Primer Principio de la Termodinámica. Variables termodinámicas."
- [11] F. Jiménez Morales and M. del C. Lemos Fernández, *Termodinámica: Una guía de clase*.2001.
- [12] J. J. Solaz Portolès and J. Quílez Pardo, "Algunas precisiones en torno a las funciones termodinámicas ΔG, ΔrG y ΔrG0," *Educación Química*, vol. 2, 2001.
- [13] "Tema 4. Equilibrio Químico." Accessed: Aug. 10, 2023. [Online]. Available: https://www.uv.es/tunon/Master_Ing_Bio/tema_4.pdf
- [14] B. Van der Bruggen, "Nanofiltration," in *Encyclopedia of Membrane Science and Technology*, John Wiley & Sons, Inc., 2013.
- [15] A. Iris Schäfer and A. G. Fane, *Nanofiltration: Principles, Applications, and New Materials*, vol. 1. 2021.
- [16] J. R. Serey Rodríguez, "Riesgo hídrico en la industria minera," 2023.

- [17] C. E. Valencia Espinoza, "Química del hierro y manganeso en el agua. Métodos de remoción."
- [18] L. H. Pino Soto, "Experimentación, evaluación y modelación del tratamiento de drenajes ácidos mineros mediante nanofiltración," 2020.
- [19] Dupont, "General WAVE Features," 2022.
- [20] I. González Campayo, "Modelización de un proceso de descarga mínima/vertido cero de efluentes de aguas industriales," 2022.
- [21] Dupont, "Results | DuPont," 2023.

Anexo A. Características de las membranas empleadas

Características de las membranas que se han utilizado para hacer el análisis.

OUPONT	
	Product Data Sheet
	FilmTec™ NF270-400/34i Element
Description	Ideal for: utility managers and operators dealing with surface and groundwater and seeking a technology that removes a high percentage of total organic carbon (TOC) and trihalomethan (THM) precursors while having a medium to high salt passage and medium hardness passage.
	 The FilmTec[™] NF270-400/34i Element: Provides organic removal with partial softening in order to maintain a minimum level of hardness for organoleptic properties and preservation of distribution networks Delivers high productivity, cleanability and low energy consumption due to its high active area and wide cleaning pH range (1-12) tolerance
	 Includes iLECTM interlocking end caps, reducing system operating costs and the risk of o-ring leaks that can cause poor water quality
Product Type	Spiral-wound element with polypiperazine thin-film composite membrane

Typical Properties

	Aotive	Area	Feed Spacer	Permeate F	Flow Rate	Typical Stabilized	Minimum Salt
FilmTeo™ Element	(112)	(m ²)	Thickness (mill)	(OPD)	(m ⁸ /d)	Salt Rejection (%)	Rejection (%)
NF270-400/34I	400	37	344.DP	12,500	47	>97.0	97.0

Permeate flow and sait passage based on the following test conditions:
 2,000 mg/l MgBO, 70 ps (4.8 bar), 77 °F (25°C) and 15% moovery.
 Flow rates for individual elements may vary but will be no more than a 15%.
 Stabilized aut rejection is generally achieved within 24-48 hours of controus use, depending upon
fleedwater characteristics and operating conditions.
 Sales specifications may vary as design revisions take place.
 Active area guaranteed at 3%. Active area as stated by DuPont Water Solutions is not comparable to nominal
membrane area clean stated by some manufactures.

Page 1 of 3

Form No. 45-D01699-en, Rev. 6 February 2023

Element Dimensions		5 DA		Berglass Outer Weg	CedCag		i thá Litrá	
	mensio	ns – Inohes (mm)					1 Inc	ah = 26.4 mm
		A		8	-	с	0)
FilmTeo [™] Element	(in.)	(mm)	(in.)	(mm)	(in.)	(mm)	(In.)	(mm)
NF270-400/34I	40.0	1,015	40.5	1,029	7.9	201	1.125 ID	29 ID
Operating and Cleaning Limits		Maximum Operating Temperature * Maximum Operating Pressure Maximum Element Pressure Drop PH Range Continuous Operation +					113°F (45°C) 600 psig (41 bar) 15 psig (1.0 bar) 3 - 10	
		Short-Term Cie	raning (30 min	- AL			1-12	
		Maximum Feed B	it Density inde	tx (SDI)			8D(\$	
		a Maximum ten b Refer to Finn c Under orifian membrane fa necommenda Dec/Acchatie	nperature for or Tao ^{na} Cleaning conditions, the Aura, Since on minoring resid g Feedwater (P	ordinuous operation Couldelines (For presence of the dation demage is faid free chlorine form No. 45-D01	ion above pH 1 m No. 45-D010 e chierine and o not covered u by pretmatme 569-en) for mo	0 is 95°F (35°C) 196-en), itter oxidizing a nder warranty, 0 nt prior to memb re information.	gents will cause p AuPont Water Sol rane exposure. P	xemature utione lease refer to
Additional Important Information		Before use or s Usage (Start-U)	torage, rev Guidelines p Sequence	iew these ad for FilmTec ^m (Form No. 4	ditional res 8° Elemen 5-D01609	ources for in tts (Form No en)	mportant info . 45-D01706	mation: I-en)
Product Stewardship		DuPont has a fu for the environm philosophy by w products and th environment. Th Individual involv manufacture, ut	indamental hent in which hich we ass en take app he success he success yed with DuP se, sale, dis	concern for a h we live. This less the safet ropriate steps of our products Pont products posal, and rec	I who make s concern is y, health, ar s to protect e t stewardshi —from the I cycle of eac	, distribute, a the basis for nd environme employee an p program re nitial concep h product.	and use its pro our product s ental informati d public health ests with each t and research	ducts, and tewardship on on our h and our and every h, to

Page 2 of 3

Form No. 45-D01695-en, Rev. 6 February 2023

Customer Notice	DuPont strongly encourages its customers to review both their manufacturing processes and their applications of DuPont products from the standpoint of human health and environmental quality to ensure that DuPont products are not used in ways for which they are not intended or tested. DuPont personnel are available to answer your questions and to provide reasonable technical support. DuPont product literature, including safety data sheets, should be consulted prior to use of DuPont products. Current safety data sheets are available from DuPont.
	Please be aware of the following: The use of this product in and of itself does not necessarily guarantee the removal of cysts and pathogens from water. Effective cyst and pathogen reduction is dependent on the complete system design and on the operation and maintenance of the system.

Regulatory Note This

This product may be subject to drinking water application restrictions in some countries; please check the application status before use and sale.

Have a question? Contact us at:

www.dupont.com/water/contect-us

All Information bet forth herein is for informational purposes only. This Information is general information and may differ from that based on actual conditions. Customer's responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuing that Customer's weblack and use of practices are in complence with applicable laws and other government exactments. The product shown in this literature may not be available for sole and/or we weblack in all peopremises where DuPont is represented. The claims made may not have been approved for use in all countries. Rease note that physical properties may very depending on certain conditions and while apending conditions stated in this document are intended to lengthen product filterpan and/or imprive product phonemics, it will utilitately depend on actual circumstances and is in or event a guarantee of christing any specific results. DuPont legale thits patient to blactimer unless otherwise expressity noted. No WARRANTEB ARE GIVEN, ALL IMPLIED WARRANTEB OF MERCHANTABUTY OR FITHERED FOR A PARTOLLAR PURPORE ARE EXPRESSLY EXCLUDED. No heedown from infingement of any patient or trademark owned by DuPont or cheres is to be inferred.

© 2023 DuPort. DuPort¹⁰, the DuPort Duai Lapo, and all tedemarks and service marks denoted with ¹⁰, ^{and} or & are owned by affiliates of DuPort de Hemours Inc., unless otherwise noted.



Page 3 of 3

Form No. 45-D01899-en, Rev. 6 February 2023

OUPONT

Product Data Sheet

FilmTec™ NF90-400/34i Element

Description	Ideal for: utility managers and operators looking for a technology that delivers high quality permeate water while removing specific contaminants such as salts, nitrates, iron, and organic compounds.	
	The FilmTec [™] NF90-400/34i Element: • Delivers high productivity and cleanability due to its high active area and widest cleaning pH range (1-13) tolerance • Offers a nanofiltration technology that selectively removes these components, removes color, and operates at low operating pressures Institute of ECON interded in a content of the conte	
	the risk of o-ring leaks that can cause poor water quality	COSIS and

Spiral-wound element with polyamide thin-film composite membrane **Product Type**

Typical Properties

	Active	e Area		Permeate Flow Rate			
FilmTeo** Element	(112)	(m ²)	Feed Spacer Thickness (mill)	(OPD)	(m ⁸ /d)	Minimum Balt Rejection (%)	
NF90-400/341	400	37	34-LDP	10,000	38	98.7	
		1 1	Permeate flow and sait passage based o 71°F (25°C) and 15% recovery flow rates for both/stat elements may a	n the following	test conditions	2,000 mg/l MgBO ₄ , 70 pei (4.8 bar), rsi.	

Flow rates for individual elements may vary but will be no more than ±15%.
 Stabilized wat rejection is generally achieved within 24-46 hours of continuous use; depending upon freedwater characteristics and operating conditions.
 Bales specifications may vary as design renkations take place.
 Active area guaranteed a 2%. Active area as stated by DuPont Water Solutions is not comparable to nominal membrane area often stated by some manufacturers.

Page 1 of 3

Form No. 45-D01698-en, Rev. 6 October 2020

Element Dimensions		D cm	Sincital Th	n A		*	C DA	
D	mensio	nc – Inchec (mm)					1 inc	oh = 26.4 mm
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		A	в			c	1)
FilmTeo [™] Element	(in.)	(mm)	(in.)	(mm)	(in.)	(mm)	(In.)	(mm)
NF90-400/341	40.0	1,015	40.5	1,029	7.9	201	1.125 ID	29 ID
Cleaning Limits		Maximum Operation Maximum Element pH Range Continuous Op Short-Term Cie Maximum Feed B Free Chorine Tol Refer to Film G. Under contain membrane fa recommenda <u>Dectivolnation</u>	ng Pressure I Pressure Drop eration ⁴ aning (30 min.) ⁴ It Density Index (3 mrance ⁴ repeature for contine rec ¹⁰ Cherring California prestate for contine network of the pre- kare, Birop estado memory residual <u>g Contocolor</u> (Form	15 ps 15 ps 2 - 11 1 - 13 20 SDI 5 <0.11 vous operations the chorine No. 45-0015	ppm an above pH 1 onto covered ut by pretmatmer 666-en() for more	0 is 90°F (30°C) 96-en) Her oxidizing a xder warranty, D It prior to memb information.	gents will cause luPont Water Sol rane exposure. P	oremature utone rease refer to
Additional Important Information		Before use or s • Usage (• Start-U	torage, review Guidelines for I <u>p Sequence</u> (F	these ad FilmTec [™] orm No. 4	ditional res 8" Elemen 5-D01609-	ources for in ts (Form No en)	nportant info 0. 45-D01706	mation: Fen)
Product Stewardship		DuPont has a fu for the environm philosophy by w products and th environment. Tr Individual involv manufacture us	indamental con hert in which we hich we assess en take approp he success of o red with DuPort se sale discoss	cem for al e live. This the safety fate steps ur products al, and rec	i who make concern is y, health, ar to protect e stewardshi from the i wdie of eact	, distribute, a the basis for id environme employee and p program re nittal concep n product.	ind use its pro our product s intal informati d public health ists with each t and research	ducts, and tewardship on on our h and our and every h, to

Page 2 of 3

Form No. 45-D01698-en, Rev. 6 October 2020

Customer Notice	DuPont strongly encourages its customers to review both their manufacturing processes and their applications of DuPont products from the standpoint of human health and environmental quality to ensure that DuPont products are not used in ways for which they are not intended or tested. DuPont personnel are available to answer your questions and to provide reasonable technical support. DuPont product literature, including safety data sheets, should be consulted prior to use of DuPont products. Current safety data sheets are available from DuPont.
	 Please be aware of the following: The use of this product in and of itself does not necessarily guarantee the removal of cysts and pathogens from water. Effective cyst and pathogen reduction is dependent on the complete system design and on the operation and maintenance of the system. Permeate obtained from the first hour of operation should be discarded.

Regulatory Note This product may be subject to drinking water application restrictions in some countries; please check the application status before use and sale.

Have a question? Contact us at:

www.dupont.com/water/comtect-us

All information set forth herein is for informational purposes only. This information is general information and may differ from that based on actual conditions. Outsomer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuing that Outsomer's workplace and disposel produces are in compliance with applicable laws and other government such and the product shown in this literature may not be valiable for set and/or available in all applicable laws and other DuPort is represented. The claims made may not have valiable for set and/or available in all applicable and product literain this literature may not be valiable for set and/or available in all applicable and and there DuPort is represented. The claims made may not have valiable for set and/or available in all applicable and and other poster states and while appending conditions stated in this document are intended to lengthen product literain and/or improve product presented. The claims made may not be valiable in this document are intended to lengthen product literain and/or improve product presented. The distribution of additional stated in this document. References to Sub-ford for the "Company" mean the DuPort legal entity setting the product to Claimer unless otherwise expression role. A No WARRANTES OR ARE SUPER ANTER ARE GIVENT, ALL MPUED WARRANTES OF UNERCHANTABULTY OR FITNEES POR A PARTICULAR PURPORE ARE EXPRESSLY EXCLUDED. No the dom from infitngement of any patient or trademask owned by DuPort or others to to be inferred.

© 2022 DuPort. DuPort ¹⁰, the DuPort Dial Logs, and all tedentaks and service maks denoted with ¹⁰, ^{bas} or Θ are owned by affiliates of DuPort de Hemours Inc., unless otherwise noted.



Page 3 of 3

Form No. 45-D01698-en, Rev. 6 October 2020



Product Data Sheet

FilmTecTM Membranes FilmTecTM NF90 Nanofiltration Elements for Commercial Systems

Description	The FilmTec™ NF90 Membrane Elements provide high productivity performance while removing a high percentage of salts, nitrate, iron and organic compounds such as
	pesticides, herbicides and THM precursors. The low net driving pressure of the NF90 membrane allows the removal of these common inds at low operating pressures.

Typical Properties

		Applied Pressure	Permeate Flow Rate	
Product	Part Number	polg (bar)	gpd (m ² /d)	Minimum Salt Rejection (%)
NF90-2640	149982	70 (4.8)	680 (2.6)	97.0
NF80-4040	149983	70 (4.5)	2,000 (7.6)	98.7

Permeate flow and sait rejection based on the following test conditions: 2,000 ppm MgSO₄, 77°F (25°C) and 15% moovery at the pressure specified above.
 Permeate flows for individual MPSO-2540 Elements may vary by -30% / +30%. NF80-4040 individual elements may vary -15% / +50%.
 Developmental products available for sale.

Element Dimensions



Olime	1 inch = 25.4 mm		
A	8	C	D
40.0 (1,016)	1.19 (30)	0.75 (19)	2.4 (51)
40.0 (1,016)	1.05 (27)	0.75 (19)	3.9 (99)
	A 40.0 (1,016) 40.0 (1,016)	Dimensions – Indhes (mm) A B 40.0 (1,016) 1.19 (30) 40.0 (1,016) 1.05 (27)	Dimensions – Inohes (mm) A B C 40.0 (1,016) 1.19 (30) 0.75 (19) 40.0 (1,016) 1.05 (27) 0.75 (19)

Refer to FilmTec[™] Design Guidelines for multiple-element systems of midsize elements (Form No. 45-D01568-en).
 NF90-2540 has a tape outer wrap. NF90-4040 has a fiberglase outer wrap.

Page 1 of 3

Form No. 45-D01520-en, Rev. 5 August 2021

Operating and	Membrane Type	Folyamide Thin-Film Composite				
Cleaning Limits	Maximum Operating Temperature	113°F (45°C)				
and an and a second	Maximum Operating Pressure	600 psi (41 bar)				
	Maximum Feed Flow Rate	and showing the				
	4040 elements	15 gpm (3.6 m ³ /hr)				
	2540 elements	5 gpm (1.4 m ³ /hr)				
	Maximum Pressure Drop	and the second				
	tape wrapped	13 psig (0.9 bar)				
	fberglassed	15 psig (1.0 bar)				
	pH Range					
	Continuous Operation®	2-11				
	Short-Term Cleaning (30 min.) ^b	1-12				
	Maximum Feed Silt Density Index	8015				
	Free Chiorine Tolerance ⁴	<0.1 ppm				
	. Marine barrent and a set					
	 Material in temperature for consists Refer to FilmTec^{Te} Cleaning Gallering Gal	Agrines (Form No. 45-D01696-en) for NF90.				
	c. Under certain conditions, the pri	esence of tree chiorine and other oxidizing agents will cause premature				
	membrane failure. Since ceidal	ion damage is not covered under warranty, DuPont Water Solutions				
	recommends removing residual	the chorne by pretreatment prior to membrane exposure. Prease refer to				
	Deciderate Persents Par	and the second second and the second second				
Immentant	Proper start-up of reverse os	mosis water treatment systems is essential to prepare the				
Important	membranes for operation se	nuce and to prevent membrane damage due to				
Information	overfeeding or hydraulic sho	ck. Enliquing the proper start-up sequence also helps				
	oncurs that custom operation	a narameters conform to design specifications so that				
	ensure that system operating parameters conform to design specifications so that					
	system water quality and productivity goals can be achieved.					
	Before initiation system start, on procedures, membrane pretreatment leading of the					
	Before incating system stan-up procedures, memorane precediment, loading of the					
	memorane elements, instrument calibration and other system checks should be					
	completed.					
	Plance refer to the application information literature entitled Start Lin Company					
	Please refer to the application information interature entitled <u>Stan-Up Sequence</u>					
	(Form No. 40-DU1008-en) to	r more information.				
O	Avoid any about pressure of	cross-flow variations on the spiral elements during start-				
Operation	un shutdown deaning or of	her sequences to prevent possible membrane damage				
Guidelines	During start up, a gradual change from a standetill to operating state is recommended					
	burng stan-up, a gradual on	ange nom a standstill to operating state is recommended				
	as follows.	i he increased and wally over a 20, 60 second time frame				
	 Consections are shound be increased gradually over a so-od second differrative. Consections are also and a solution of the solution					
	20 coopedr	set operating point should be achieved gradually over 15				
	20 Seconds.					
General	 Keep elements moist at a 	l times after initial wetting.				
Information	 If operating limits and guid 	delines given in this bulletin are not strictly followed, the				
	limited warranty will be null and void.					
	 To prevent biological grow 	with during prolonged system shutdowns, it is				
	recommended that memb	rane elements be immersed in a preservative solution.				
	 The customer is fully resp 	onsible for the effects of incompatible chemicals and				
	lubricants on elements.	and the second				
	 Maximum pressure drop a 	across an entire pressure vessel (housing) is 30 psi (2.1				
	bar).	a construction of the second states and the second states and the second states and the second states and the s				
	 Avoid static permeate-sid 	e backpressure at all times.				

Page 2 of 3

Form No. 45-D01520-en, Rev. 5 August 2021

Product Stewardship	DuPont has a fundamental concern for all who make, distribute, and use tils products, and for the environment in which we live. This concern is the basis for our product stewardship philosophy by which we assess the safety, health, and environmental information on our products and then take appropriate steps to protect employee and public health and our environment. The success of our product stewardship program rests with each and every individual involved with DuPont products—from the initial concept and research, to manufacture, use, sale, disposal, and recycle of each product.				
Customer Notice	DuPont strongly encourages its customers to review both their manufacturing processes and their applications of DuPont products from the standpoint of human health and environmental quality to ensure that DuPont products are not used in ways for which they are not intended or tested. DuPont personnel are available to answer your questions and to provide reasonable technical support. DuPont product literature, including safety data sheets, should be consulted prior to use of DuPont products. Current safety data sheets are available from DuPont.				
	Please be aware of the following: The use of this product in and of itself does not necessarily guarantee the removal of cysts and pathogens from water. Effective cyst and pathogen reduction is dependent on the complete system design and on the operation and maintenance				

of the system. Permeate obtained from the first hour of operation should be discarded.

Have a question? Contact us at:

www.dupont.com/water/contect-us

All information set bith herein is the informational purposes only. This information is general information and may differ from that based on actual conditions. Customer's responsible for determining whether products and the information in this document we appropriate for Customer's use and for ensuing that Dustomer's weaponed are not produced and the information in this document we appropriate for Dustomer's use and for ensuing that Dustomer's weaponed are not produced and the information in this document are appropriate for Dustomer's use and for ensuing that Dustomer's weaponed for use in all countries. Please note that physical properties where Dustomer's use and for ensuing that the presting conditions stated in this document are intended to be programmer, it will ultimately depend on actual characterizes and user a guarantee of achieving any specific results. Dustomerset, it will ultimately depend on actual characterizes and to in owned a guarantee of achieving any specific results. Dustomerset, it will ultimately depend on actual characterizes and to in owned a guarantee of achieving any presention estimates and stategraphic to the Information in this document. References to Pulpent's use and Pulpent's ALL IMPUED WARRANTERS OF MERCHARTABULTY OR FTINEES POR A PARTINCULAR PULPPORE ARE EXPRESSLY EXCLUDED. No heredom from infingement of any patient or bedreak owned by DuPont or others to be informed.

© 2022 DuPort. DuPort "V, the DuPort Dvai Logo, and all testernarks and service marks denoted with "V, ^{and} or @ are owned by affiliates of DuPort de Hernours Inc., unless otherwise noted.



Page 3 of 3

Form No. 45-D01520-en, Rev. 5 August 2021

OUPONT

Product Data Sheet

FilmTecTM Membranes FilmTecTM NF270 Nanofiltration Elements for Commercial Systems

The FilmTec[™] NF270 Nanofiltration Elements are ideal for removing a high Description percentage of TOC and THM precursors with medium to high salt passage and medium hardness passage. The FilmTec™ NF270 Membrane is an ideal choice for surface water and ground water where good organic removal is desired with partial softening.

Typical Properties

Product Part Number		Active Area ft ² (m ²)	Applied Preccure poig (bar)	gpd (m ³ id)	Stabilized Salt Rejection (%)	
NF270-2640	149986	28 (2.6)	70 (4.8)	850 (3.2)	>97.0	
NF270-4040	149987	82 (7.6)	70 (4.8)	2,500 (9.5)	>97.0	

Permeate flow and sait rejection based on the following test conditions: 2,000 ppm MgSO₄, 77*F (25*C) and 15% necessary at the pressure specified above.
 Permeate flows for individual MF270-2540 elements may vary by -20% / +35%. NF270-4040 individual elements may say -15% / +55%.
 Developmental products available for sale.



Dime		1 inoh = 26.4 mm	
A	8	C	D
40.0 (1,016)	1.19 (30)	0.75 (19)	2.4 (61)
40.0 (1,016)	1.05 (27)	0.75 (19)	3.9 (99)
	A 40.0 (1,016) 40.0 (1,016)	Dimensions - Inches (mm) A 8 40.0 (1,016) 1.19 (30) 40.0 (1,016) 1.05 (27)	Dimensions – Inches (mm) A B C 40.0 (1,016) 1.19 (30) 0.75 (19) 40.0 (1,016) 1.05 (27) 0.75 (19)

Refer to FilmTec^{Ter} Design Guidelines for multiple-element systems of midsize elements (Form No. 45-D01568-en).
 NF270-2540 has a tape outer wrap. NF270-4040 has a fiberglass outer wrap.

Page 1 of 3

Form No. 45-D01529-en, Rev. 6 August 2021

Operating and	Memorane Type	Polypiperazine Thin-Film Composite				
Cleaning Limits	Maximum Operating Temperature	113*F (45*C)				
and a second	Maximum Operating Pressure	600 psi (41 bar)				
	Maximum Feed Flow Rate	And a first to provide the second second				
	4040 elements	16 gpm (3.6 m ³ /hr)				
	2540 elements	6 gpm (1.4 m3tr)				
	Maximum Pressure Drop					
	tape wrapped	13 psig (0.9 bar)				
	1berglassed	15 psig (1.0 bar)				
	pH Range					
	Continuous Operation*	3-10				
	Short-Term Cleaning (30 min.) ²	1-12				
	Maximum Feed Silt Density Index	SDI 5				
	Free Chlorine Tolerance ⁴	<0.1 ppm				
	a Maximum termoenting for conti	serve operation share all 10 is 0515 (9510)				
	 Refer to FilmTec[™] Cleaning Ca 	Idelines (Form No. 45-D01696-en) for NF90.				
	c. Under certain conditions, the pr	mence of free chlorine and other oxidizing agents will cause premature				
	membrane failure. Since caldat	ion damage is not covered under warranty, DuPontWater Solutions				
	Peconimends removing residual	The chorne by pretreatment pror to memorane exposure. Please refer to				
	Concentration of the second of the	the expension of the more expension.				
Important	Proper start-up of reverse os	mosis water treatment systems is essential to prepare the				
important	membranes for operation set	nice and to prevent membrane damage due to				
Information	overfeeding or hydraulic sho	ok. Following the proper start-up sequence also helps				
	oncurs that sustant operation	a normaters conform to design specifications so that				
	ensure that system operating parameters conform to design specifications so that					
	system water quality and productivity goals can be achieved.					
	Before initiating system start-up procedures, membrane pretreatment, loading of the					
	membrane elements, instrument calibration and other system checks should be					
	completed.					
	Please refer to the application information literature entitled Start-Up Sequence					
	(Form No. 45-D01609-en) fo	r more information.				
Const.	Avoid any about pressure of	cross-flow variations on the spiral elements during start-				
Operation	up shutdown deaping or of	her sequences to prevent possible membrane damage				
Guidelines	Outen stad un a markial shares ferm a standatilite exemption state is second and					
	During start-up, a gradual ch	ange from a standstill to operating state is recommended				
	as tollows.	the increased area will want a 20,80 second time frame.				
	 recupressure should be increased gradually over a so-ou second time traine. Const. flow valuebuilt at cat operation exist should be achieved and with event 15. 					
	 Cross-now velocity at 20 accords 	set operating point should be achieved gradually over 10-				
	20 seconds.					
General	 Keep elements moist at a 	I times after initial wetting.				
Information	 If operating limits and guid 	selines given in this bulletin are not strictly followed, the				
	limited warranty will be null and void.					
	 To prevent biological growth during prolonged system shutdowns, it is 					
	recommended that memb	rane elements be immersed in a preservative solution.				
	 The customer is fully resp 	onsible for the effects of incompatible chemicals and				
	lubricants on elements.					
	 Maximum pressure drop a 	across an entire pressure vessel (housing) is 30 psi (2.1				
	bar).					
	 Avoid static permeate-sid 	e backpressure at all times.				
	50					

Page 2 of 3

Form No. 45-D01525-en, Rev. 6 August 2021

Product Stewardship	DuPont has a fundamental concern for all who make, distribute, and use its products, and for the environment in which we live. This concern is the basis for our product stewardship philosophy by which we assess the safety, health, and environmental information on our products and then take appropriate steps to protect employee and public health and our environment. The success of our product stewardship program rests with each and every individual involved with DuPont products—from the initial concept and research, to manufacture, use, sale, disposal, and recycle of each product.
Customer Notice	DuPont strongly encourages its customers to review both their manufacturing processes and their applications of DuPont products from the standpoint of human health and environmental quality to ensure that DuPont products are not used in ways for which they are not intended or tested. DuPont personnel are available to answer your questions and to provide reasonable technical support. DuPont product literature, including safety data sheets, should be consulted prior to use of DuPont products. Current safety data sheets are available from DuPont.
	Please be aware of the following: The use of this product in and of itself does not necessarily guarantee the removal of cysts and pathogens from water. Effective cyst and pathogen reduction is dependent on the complete system design and on the operation and maintenance.

of the system. Permeate obtained from the first hour of operation should be discarded.

Have a guestion? Contact us at: www.dupont.com/water/contact-us All information set bith herein is torinhomational purposes only. This information is general information and may differ from that based on actual conditions. Customer's responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuing that Customer's welface and disposel precises are in compliance with applicable laws and other government executions. The claims made may not have been approved for use in all countries. Rease note that physical properties may vary depending on certain conditions and while specify conditions stelled in this document are intended to lengthen product fragment and/or improve product pretiminance, it will ultimately depend on actual documentations and is in or event as guarantee of activity any specific exaits. DuPoint assumes no abligation or leability for the information in this document. References to 'CUPON' or the 'Company' mean the DuPoint leage entry setting the products to Customer unises otherwise expension lead. No WARRAINTES ARE GIVEN, ALL IMPLIED WARRAINTES OF WERCHARD MARKING and BY CUPPINT proteins to be informed.

© 2022 DuPort. DuPort¹⁰, the DuPort Divel Logs, and all testernarks and service marks denoted with ¹⁰, ²⁰¹ or \oplus are owned by affiliates of DuPort de Hernours Inc., unless otherwise roles.



Page 3 of 3

Form No. 45-D01525-en, Rev. 6 August 2021

OUPONTE

Product Data Sheet

FilmTec™ Sanitary RO Membranes Reverse Osmosis Elements for Food & Beverage Water Applications



NSI 61

IDEAL for: Water Treatment Plant managers and operators looking for a state-of-the art Sanitary Desalination solution for reducing CAPEX and OPEX in Food & Beverage

FilmTec™ Reverse Osmosis (RO) Membrane Elements contain sanitary, highrejection FT30 reverse osmosis membrane that has been successfully used to process a wide range of food and beverage streams including Bottled Water, Juice, Soft Drinks, non-Dairy milk products and many others

These elements deliver high flux and outstanding quality water for applications requiring sanitary grade membrane elements.

The full-fit configuration minimizes stagnant areas and is optimal for applications requiring a sanitary design. All components comply with FDA indirect food contact.

Typical Properties

		Active Area	Stabilized Permeate Flow Rate gpd	Typical Stabilized Salt Rejection
FilmTeo™ Membranes	Part Number	ft²(m²)	(m ⁹ /d)	(%)
RO-4040-FF	84286	90 (8.36)	2,650 (10.0)	99.5
RO-380-FF	116314 / 100608	390 (36.23)	13,700 (51.8)	99.5

1.

- Permeate flow and sait rejection based on the following standard conditions: 2,000 ppm NaCl, 225 pel (15.5 bar), 77*F (25*C), pH 8 and 15% recovery. Minimum sait rejection is 58.0%. RO-300-FF Flow rates for individual elements may vary but will be no more than ±15% RO-4040-FF Flow rates for individual elements may vary but will be no more than ±15% Stabilized sait rejection is generally achieved within 24-48 hours of continuous use; depending upon feed water characteristics and operating conditions. 23.4

Element Dimensions



	A		в		C	
FlimTeo* Membranes	(in.)	(mm)	(in.)	(mm)	(in.)	(mm)
RO-4040-FF	40.00	1,016	0.75 OD	19 OD	3.9	99
RO-380-FF	40.00	1,016	1.125 ID	28.58 ID	7.9	200

Page 1 of 3

Form No. 45-D01733-en, Rev. 3 July 2022
Operating and	Membrane Type	Thin-Film Composite					
Cleaning Limits	Maximum Operating Temperature	113ºF (45°C)					
,	Maximum Operating Pressure	600 psi (41 bar)					
	Maximum Differential Pressure	15 psl (1.0 bar)					
	Maximum Feed Turbidity	1 NTU					
	Free Chiorine Tolerance	Below Detectable Limits					
	pH Range						
	Continuous Operations	3-10					
	Short-Term Cleaning (30 min)"	1-12					
	Maximum Feed Silt Density Index (SDI)	5					
	* Refer to FilmTec** Cleaning Guidelines (Form No. 45-D	01996-en)					
Additional	Proper start-up of reverse osmosis water tr	eatment systems is essential to prepare the					
Additional	membranes for operating service and to pa	event membrane damage due to					
Important	overfeeding or budraulic shock. Following t	he proper start-up sequence also helps					
Information	oncurs that curies execution execution	onform to docion constituations so that					
	ensure that system operating parameters conform to design specifications so that system water quality and productivity goals can be achieved.						
	Before initiating system start-up procedures	s, membrane pretreatment, loading of the					
	membrane elements, instrument calibration	n and other system checks should be					
	completed.						
	Please refer to the application information literature entitled Start-Up Sequence						
	(Form No. 45-D01609-en) for more information.						
Operation	Avoid any abrupt pressure or cross-flow variations on the spiral elements during start-						
Guidelines	up, shutdown, deaning or other sequences to prevent possible membrane damage.						
	During start up, a gradual change from a standstill to operating state is recommended						
	as follows:						
	 reed pressure should be increased gradually over a 30-00 second time frame. 						
	 Cross-flow velocity at set operating point should be achieved gradually over 15- 						
	20 seconds.						
General	· Keep elements moist at all times after in	itial wetting.					
Information	 If operating limits and guidelines given in 	n this bulletin are not strictly followed, the					
intermation	limited warranty will be null and void.						
	 To prevent biological growth during prolonged system shutdowns, it is 						
	recommended that membrane elements be immersed in a preservative solution.						
	 The customer is fully responsible for the effects of incompatible chemicals and 						
	lubricants on elements.						
	 Maximum pressure drop across an entire pressure vessel (housing) is 60 psi (4.1 						
	bar)						
	 Avoid permeate-side backpressure at all times. 						
	DuDoot has a fundamental concern for all who	make distribute and use its products and					
Product	for the environment is which we fire. This see	o make, and bute, and use its products, and					
Stewardship	for the environment in which we live. I his concern is the basis for our product stewardship						
	philosophy by which we assess the safety, health, and environmental information on our						
	products and then take appropriate steps to protect employee and public health and our						
	environment. The success of our product stewardship program rests with each and every						
	Individual involved with DuPont products—from the initial concept and research, to						
	manufacture, use, sale, disposal, and recycle of each product.						

Page 2 of 3

Form No. 45-D01733-en, Rev. 3 July 2002

DuPont strongly encourages its customers to review both their manufacturing processes **Customer Notice** and their applications of DuPont products from the standpoint of human health and environmental quality to ensure that DuPont products are not used in ways for which they are not intended or tested. DuPont personnel are available to answer your questions and to provide reasonable technical support. DuPont product literature, including safety data sheets, should be consulted prior to use of DuPont products. Current safety data sheets are available from DuPont.

Please be aware of the following: The use of this product in and of itself does not necessarily guarantee the removal of cysts and pathogens from water. Effective cyst and pathogen reduction is dependent on the complete system design and on the operation and maintenance of the system.

Have a guestion? Contact us at: www.dupont.com/water/contect-ue

All information set forth herein is for informational autooses only. This information is general information and may differ from that based on actual conditions. Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuring that Customer's workplace and disposel practices are in compliance with applicable laws and other poverment enactments. The product shown in this iterature may not be available for sale and/or available in all geographies where DuPort is represented. The claims made may not have been approved for use in all countries. Please note that physical properties may very depending on certain conditions and while operating conditions stated in this document are intended to lengthen product lifespen and/or improve product performance, it will ultimately depend on actual circumstances and is in no event a guarantee of achieving any specific results. DuPont assumes no abligation or lability for the information in this document. References to 'DuPont' or the 'Company' meen the DuPort legal entity selling the products to Customer unless otherwise expressly noted. NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF WERCHAINTABILITY OR RTINESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED. No freedom from infringement of any patent or trademark owned by DuPont or others is to be inferred.

0.2022 DuPort. DuPort¹⁰, the DuPort Dial Logs, and all tedemarks and service marks denoted with ¹⁰, ¹⁰⁴ or \oplus are owned by affiliates of DuPort de Hemours Inc., unless otherwise notes.



Page 3 of 3

Form No. 45-D01733-en, Rev. 3 July 2022

Anexo B. Resultados de los ensayos realizados con las membranas NF270-400/34i y RO-390-FF

Tabla comparativa de todos los ensayos realizados con la combinación NF270-400/34i-RO-390-FF.

Elemento	NF27	NF270-400/34i		-390-FF	Recuperación	Energía	Precio	TDS ^a
Nº	Etapas	Elementos	Etapas	Elementos	%	kWh/m ³	€/m ³	mg/L
1	1	1	1	1	47,80	1,52	0,984	*
2	1	1	1	2	50,10	1,43	0,903	*
3	1	1	1	3	48,30	1,45	0,967	499,9
4	1	1	1	4	35,00	1,86	1,610	500
5	1	1	1	5				>500
6	1	1	2	1(1)	49,60	1,43	0,916	*
7	1	1	2	1(2)	48,40	1,45	0,964	499,9
8	1	1	2	1(3)				>500
9	1	1	2	1(4)				>500
10	1	1	2	2(1)	48,30	1,45	0,967	499,7
11	1	1	2	2(2)				>500
12	1	1	2	2(3)				>500
13	1	1	2	3(1)				>500
14	1	1	2	3(2)				>500
15	1	1	2	4(1)				>500
16	1	1	3	1(1)(1)	48,40	1,45	0,958	500
17	1	1	3	1(1)(2)				>500
18	1	1	3	1(1)(3)				>500
19	1	1	3	1(2)(1)				>500
20	1	1	3	1(2)(2)				>500
21	1	1	3	2(1)(1)	34,40	1,90	1,646	500
22	1	1	3	2(1)(2)				>500
23	1	1	3	2(2)(1)				>500

Elemento	NF27	0-400/34i	RO-390-FF		Recuperación	Recuperación Energía Precie		TDS ^a
Nº	Etapas	Elementos	Etapas	Elementos	%	kWh/m ³	€/m ³	mg/L
24	1	1	3	3(1)(1)				>500
25	1	1	4	1(1)(1)(1)				>500
26	1	1	4	1(1)(1)(2)				>500
27	1	2	1	1	47,80	1,34	0,969	*
28	1	2	1	2	42,50	1,48	1,170	500
29	1	2	1	3				>500
30	1	2	2	1(1)	42,30	1,48	1,198	500
31	1	2	2	1(2)				>500
32	1	2	2	2(1)				>500
33	1	3	1	1	47,80	1,31	0,969	*
34	1	3	1	2				>500
35	1	3	2	1(1)				>500
36	1	4	1	1	47,80	1,28	0,955	*
37	1	4	1	2				>500
38	1	4	2	1(1)				>500
39	1	5	1	1				N/A
40	1	5	1	2				>500
41	1	5	2	1(1)				>500
42	1	6	1	1	45,80	1,30	1,034	*
43	1	6	1	2				>500
44	1	6	2	1(1)				>500
45	1	7	1	1	47,70	2,07	1,033	*
46	1	7	1	2				>500
47	1	7	2	1(1)				>500
48	1	8	1	1				N/A
49	1	8	1	2				>500

	Elemento	NF27	0-400/34i	RO	-390-FF	Recuperación	Energía	Precio	TDS ^a
	Nº	Etapas	Elementos	Etapas	Elementos	%	kWh/m ³	€/m ³	mg/L
-	50	1	8	2	1(1)				>500
	51	1	16	1	1				>500
	52	1	16	1	2				>500
	53	1	16	2	1(1)				>500
	54	2	1(1)	1	1	47,80	1,38	0,969	*
	55	2	1(1)	1	2	42,50	1,46	1,185	500
	56	2	1(1)	1	3				>500
	57	2	1(1)	2	1(1)	42,40	1,52	1,189	500
	58	2	1(1)	2	1(2)				>500
	59	2	1(1)	3	1(1)(1)				>500
	60	2	1(2)	1	1	47,80	1,31	0,970	*
	61	2	1(2)	1	2				>500
	62	2	1(2)	2	1(1)				>500
	63	2	1(3)	1	1	47,80	1,28	0,969	*
	64	2	1(3)	1	2				>500
	65	2	1(3)	2	1(1)				>500
	66	2	1(4)	1	1				N/A
	67	2	1(4)	1	2				>500
	68	2	1(4)	2	1(1)				>500
	69	2	1(5)	1	1	45,90	1,25	1,025	*
	70	2	1(5)	1	2				>500
	71	2	1(5)	2	1(1)				>500
	72	2	1(6)	1	1				N/A
	73	2	1(6)	1	2				>500
	74	2	1(6)	2	1(1)				>500
	75	2	1(7)	1	1				N/A

Elemento	NF27	0-400/34i	RO	-390-FF	Recuperación	Energía	Precio	TDS ^a
Nº	Etapas	Elementos	Etapas	Elementos	%	kWh/m ³	€/m ³	mg/L
76	2	1(7)	1	2				>500
77	2	1(7)	2	1(1)				>500
78	2	1(8)	1	1				N/A
79	2	1(8)	1	2				>500
80	2	1(8)	2	1(1)				>500
81	2	1(16)	1	1				>500
82	2	2(1)	1	1	47,80	1,31	0,969	*
83	2	2(1)	1	2				>500
84	2	2(1)	2	1(1)				>500
85	2	2(2)	1	1	47,80	1,28	0,955	*
86	2	2(2)	1	2				>500
87	2	2(2)	2	1(1)				>500
88	2	2(3)	1	1				N/A
89	2	2(3)	1	2				>500
90	2	2(3)	2	1(1)				>500
91	2	2(4)	1	1				N/A
92	2	2(4)	1	2				>500
93	2	2(4)	2	1(1)				>500
94	2	2(5)	1	1				N/A
95	2	2(5)	1	2				>500
96	2	2(5)	2	1(1)				>500
97	2	2(6)	1	1				N/A
98	2	2(6)	1	2				>500
99	2	2(6)	2	1(1)				>500
100	2	2(7)	1	1				N/A

* Se encuentra por debajo del límite, N/A: no hay datos. Los valores entre paréntesis representan la etapa 2, 3...



Gráfica comparativa de todos los ensayos realizados con la combinación NF270-400/34i-RO-390-FF.