

Análisis del comportamiento de los elementos de ósmosis inversa para la desalinización de agua: Empleo de herramientas informáticas como método de aprendizaje.

Autores

José Jaime Sadhwani Alonso, Beatriz Del Río Gamero, César Méndez Montes

Departamento de Ingeniería de Procesos. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

RESUMEN.

Los sistemas de aprendizaje basados en la simulación son un campo de trabajo activo que ha demostrado ser eficiente en los distintos niveles educativos, por lo que se propone su uso como orientación para promover un cambio metodológico en el Espacio Europeo de Educación Superior. En este trabajo se presenta el estudio de una caja de presión de ósmosis inversa de n elementos en escala progresiva, mediante una simulación del proceso en una hoja de cálculo (MS Excel Versión Microsoft Office Profesional Plus 2016 32 bit). El empleo de una hoja de cálculo surge como alternativa a la posibilidad de que el alumnado no tenga acceso a los programas comerciales existentes en el mercado para este tipo de estudios. Igualmente, el empleo de la hoja de cálculo permite la interacción del alumno en el proceso de diseño de la caja de presión, facilitando la comprensión y el desarrollo de los conceptos teóricos explicados en clase.

Palabras clave: ósmosis inversa, simulación, TIC, aprendizaje activo, elementos de membrana, caja de presión.

1. INTRODUCCIÓN.

Tradicionalmente la metodología empleada en las carreras técnicas (p. ej. Ingeniería) se basan en bloques de contenido teórico donde el docente, usando los medios a su disposición, desarrolla los conceptos. Sin embargo, esta fórmula tradicional de aprendizaje presenta una serie de inconvenientes que limitan la comprensión adecuada por parte del alumno, de los conceptos explicados¹.

Es en este ámbito, donde la introducción de las Tecnologías de la información y la Comunicación (TIC) plantean nuevos horizontes en cuanto a la manera en la que los docentes transmiten conocimientos, y la forma en la que estos conocimientos se asimilan por parte de los alumnos²; por ejemplo, promoviendo nuevas formas de enseñanzas mediante el uso de programas informáticos que nos permitan hacer simulaciones de procesos industriales.

Aunque en la actualidad existen una amplia gama de programas informáticos comerciales con los que realizar cálculos y simulaciones de los procesos industriales, estos no siempre están a disposición de los estudiantes. Muchas veces su uso está restringido a empresas, o su coste lo hace inasequible al estudiante e incluso a la Universidad; en otras ocasiones solo se permite un uso parcial del software.

Como alternativa a los programas comerciales se puede introducir un elemento al alcance de la mayoría (si no la totalidad) de los alumnos, como es una sencilla hoja de cálculo, que de forma abierta nos permite actuar sobre todas las variables del proceso que queremos analizar.

En este trabajo describiremos la metodología del uso de una hoja Excel para análisis del comportamiento de los elementos de ósmosis inversa para la desalinización de agua. Esto permite al estudiante adoptar un papel activo en su proceso de aprendizaje, ya que interactúa con todas las variables del proceso, y puede ver cuál es la respuesta del sistema a su toma de decisiones³.

2. EL PROCESO DE LA ÓSMOSIS INVERSA.

Si dividimos un recipiente en dos compartimentos independientes mediante una membrana semipermeable y añadimos una solución salina y otra de agua dulce veremos que se produce un flujo espontáneo de agua desde la solución diluida a la solución más concentrada.

La dirección del flujo viene determinada por su potencial químico, que a su vez es función de la presión, temperatura y concentración de sólidos disueltos y es independiente de la membrana utilizada.

Cuantificando la diferencia de nivel existente de la solución salina respecto a la del agua nos indicará la medida de la presión osmótica de dicha solución.

Si aplicamos una presión externa igual a la presión osmótica al compartimento de la solución salina alcanzaremos un estado de equilibrio que parará el flujo de agua dulce. Si aumentamos la presión externa por encima de la presión osmótica, el flujo a través de la membrana se invertirá en dirección al compartimento del agua dulce. Este fenómeno se conoce como ósmosis inversa y es utilizado para conseguir la desalación de agua de mar y agua salobre a nivel industrial.

En esencia el agua de mar se bombea a una determinada presión hacia una membrana semipermeable, dando lugar a dos flujos de agua, uno con una concentración muy alta de sales denominado salmuera (o rechazo) y otro con una baja concentración de sales llamado producto (o permeado)⁴.

3. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO APROXIMADO DEL RENDIMIENTO DE UN ELEMENTO.

Este trabajo innovador, se desarrolla con la intención de mejorar la actividad de enseñanza-aprendizaje a través de una hoja de cálculo como herramienta más sencilla y de gran utilidad para conocer el comportamiento de los elementos de la ósmosis inversa (OI) en una caja de presión. Las aplicaciones informáticas disponibles en el mercado para el cálculo de elementos de OI, se plantean para el dimensionamiento de la línea de producción en distintos escenarios de condiciones de operación. Sin embargo, para una mejor comprensión del sistema, es necesario e imprescindible, el desarrollo matemático con las ecuaciones del modelo en condiciones ideales, que nos permita profundizar previamente en los conceptos básicos del sistema de OI.

El carácter innovador reside justamente en dicha circunstancia, ya que incorpora dicha posibilidad y además es aplicable para dos tipos de calidades de aguas (salobres y de mar). Por todo ello, en este apartado se desarrollan las ecuaciones propias de los balances y cálculos necesarios para conocer el comportamiento de un elemento de membrana⁵. Antes de comenzar a explicar dichos balances, se deben de tener en cuenta los siguientes conceptos:

El factor de conversión (Y), el cual nos indica la cantidad de agua desalada que se va a obtener partiendo de una cantidad de agua bruta de alimentación, se expresa en tanto por ciento y representa el cociente entre el caudal de agua producto (Q_p) y el caudal de agua de alimentación (Q_a). Su expresión es la siguiente:

$$Y = \frac{Q_p}{Q_a} \cdot 100 \quad (1)$$

El paso de sales (PS) se define como el cociente entre la concentración de sales en el agua producto (permeado, X_p) con respecto a la concentración de sales en la alimentación (X_a). La expresión es la siguiente:

$$PS = \frac{x_p}{x_a} \cdot 100 \quad (2)$$

El rechazo de sales (RS) será por tanto la diferencia entre la cantidad de sales inicial y el paso de sales que permea al agua producto. Este parámetro viene determinado por las especificaciones del fabricante.

$$RS = \left[1 - \left(\frac{x_p}{x_a} \right) \right] \cdot 100 = 100 - PS \quad (3)$$

En la siguiente figura se observa el diagrama de flujo de un elemento de membrana.

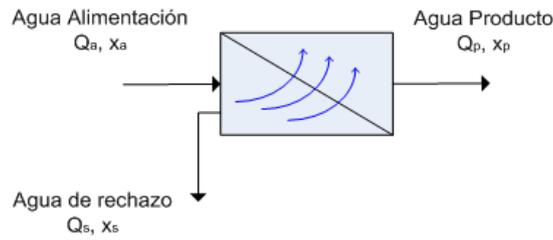


Figura 1. Diagrama de flujo en un elemento de membrana.

Donde:

Q_a es el caudal de agua de alimentación [m^3/s]

Q_p es el caudal de permeado [m^3/s]

Q_s es el caudal de agua de rechazo (salmuera) [m^3/s]

x_a es la concentración de sales del caudal de agua de alimentación [mg/l]

x_p es la concentración de sales del permeado [mg/l]

x_s es la concentración de sales del agua de rechazo [mg/l]

A continuación, se exponen tanto el balance de caudales - considerando que no existen pérdidas en el elemento de membrana - (4), como el balance de sales (5):

$$Q_a = Q_p + Q_s \quad (4)$$

$$Q_a \cdot x_a = Q_p \cdot x_p + Q_s \cdot x_s \quad (5)$$

En el caso de disponer de dos elementos de membrana, las ecuaciones quedarían de la siguiente manera:

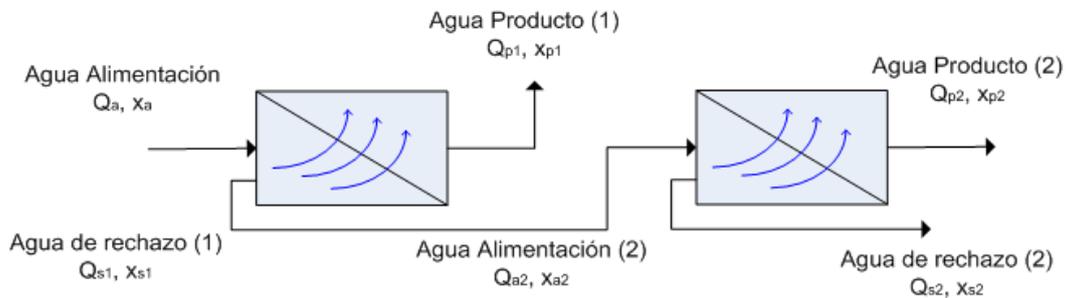


Figura 2. Diagrama de flujo para 2 elementos de membrana.

Por parte del primer elemento:

$$Q_{s1} = Q_a - Y \cdot Q_a = (1 - Y) \cdot Q_a \quad (6)$$

$$Q_{s1} = Q_{a2} \quad (7)$$

Por parte del segundo elemento:

$$Q_{a2} = Q_{p2} + Q_{s2} \quad (8)$$

$$Q_{p2} = Y \cdot Q_{a2} = Y \cdot Q_{s1} \quad (9)$$

$$Q_{s2} = Q_{a2} - Q_{p2} = Q_{a2} - Y \cdot Q_{s1} = Q_{s1} - Y \cdot Q_{s1} = (1 - Y) \cdot Q_{s1} \quad (10)$$

Y así sucesivamente, de manera que para n elementos se tiene que:

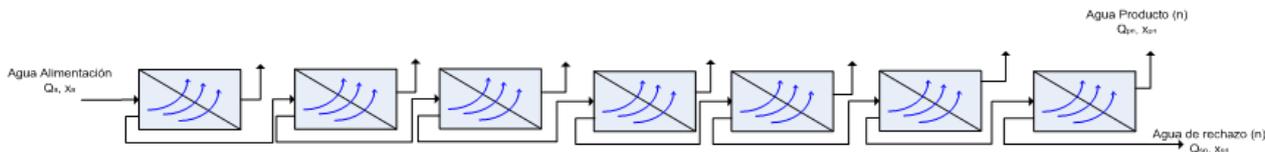


Figura 3. Diagrama de flujo para n elementos de membrana.

$$Q_{an} = Q_{pn} + Q_{sn} \quad (11)$$

$$Q_{an} = Q_{s(n-1)} \quad (12)$$

$$Q_{pn} = Y \cdot Q_{na} = Y \cdot Q_{s(n-1)} \quad (13)$$

$$Q_{sn} = Q_{an} - Q_{pn} = Q_{an} - Y \cdot Q_{s(n-1)} \quad (14)$$

$$Q_{sn} = Q_{s(n-1)} - Y \cdot Q_{s(n-1)} \quad (15)$$

$$Q_{sn} = (1 - Y) \cdot Q_{s(n-1)} \quad (16)$$

$$Q_{sn} = (1 - Y)^{n-1} \cdot Q_{s1} \quad (17)$$

Respecto al balance de sales, de la ecuación (5) se deduce que:

$$x_s = \frac{Q_a \cdot x_a - Q_p \cdot x_p}{Q_s} \quad (18)$$

Considerando que $x_p \cong PS \cdot x_a$ y que la concentración x_a es conocida (es la concentración del agua de alimentación) podemos calcular fácilmente la concentración de la salmuera en cada uno de los elementos de nuestra caja de presión.

El balance global de caudales de una caja de presión, por tanto, se presenta de la siguiente manera:

$$Q_a = Q_{pt} + Q_{st} \quad (19)$$

Donde:

$$Q_{pt} = Q_{p1} + Q_{p2} + Q_{p3} + \dots + Q_{pn} \quad (20)$$

$$Q_{st} = Q_{sn} \quad (21)$$

El balance de sales global de la caja de presión será, por tanto:

$$Q_a \cdot x_a = Q_{pt} \cdot x_{pt} + Q_{st} \cdot x_{st} \quad (22)$$

La concentración de sales en el permeado del agua osmotizada en la caja de presión se calcula a partir de las siguientes ecuaciones:

$$Q_{pt} \cdot x_{pt} = Q_{p1} \cdot x_{p1} + Q_{p2} \cdot x_{p2} + Q_{p3} \cdot x_{p3} + \dots + Q_{pn} \cdot x_{pn} \quad (23)$$

$$x_{pt} = \frac{Q_{p1} \cdot x_{p1} + Q_{p2} \cdot x_{p2} + Q_{p3} \cdot x_{p3} + \dots + Q_{pn} \cdot x_{pn}}{\sum_{i=1}^n Q_{pi}} \quad (24)$$

Para poder determinar el número n de elementos de membrana en una caja de presión, y a modo de factor limitante en los cálculos realizados, se debe de analizar el factor de concentración de sales en el último elemento de la caja de presión, en el que se puede producir el precipitado las mismas.

A título de ejemplo, un agua de mar que trabaje al 45% de conversión dispone de un agua de salmuera en el último elemento cuya concentración es casi el doble de la del agua de mar. Dicho de otra manera, si la salinidad del agua de mar es 35.000 mg/l, la concentración de la salmuera en el último elemento sería de aproximadamente el doble (70.000 mg/l); lo que supone que las distintas especies iónicas presentes en la salmuera, disponen de mayores concentraciones que en el agua de alimentación. Se debe tener en cuenta que éstas pueden precipitar en función del producto de solubilidad de las mismas, provocando una merma de rendimiento y problemas de operación; por lo que, se considera siempre estar por debajo de dicho riesgo de precipitación.

En consecuencia, en una caja de presión con distintos elementos, a medida que aumentamos el número de éstos, aumenta el riesgo de precipitación de sales, generándose éstas en aquel elemento situado en la última posición.

Lo mismo ocurre en el caso del agua salobre, donde trabajando con conversiones cercanas al 75-85%, la concentración de sales aumenta entre 3 y 4 veces la del agua de alimentación. A modo de justificación se plantea el cálculo de factor de concentración en función del factor de conversión y de la concentración total de la salmuera, es decir, de la corriente de salmuera del último elemento de membrana.

De las ecuaciones (4) y (5) se deduce que:

$$Q_a \cdot x_a = Q_p \cdot x_p \cdot (Q_a - Q_p) \cdot x_s \quad (25)$$

Dividiendo por Q_a :

$$x_a = \frac{Q_p}{Q_a} \cdot x_p + \left(1 - \frac{Q_p}{Q_a}\right) \cdot x_s \quad (26)$$

Teniendo en cuenta (1)

$$x_a = Y \cdot x_p + (1 - Y) \cdot x_s \quad (27)$$

Considerando que x_p despreciable frente x_s se tiene:

$$\frac{x_a}{x_s} \cong (1 - Y) \quad (28)$$

Si se considera el factor de concentración como

$$FC \cong \frac{x_s}{x_a} \quad (29)$$

Se obtiene que

$$FC \cong \frac{x_s}{x_a} \cong \frac{1}{1-Y} \quad (30)$$

4. CASO PRÁCTICO.

En este apartado se hace uso de la herramienta informática Excel para llevar a cabo el análisis del comportamiento de los elementos de membrana; lo cual plantea una nueva competencia y destreza, consistente en el análisis interno del nivel de producción y de calidad agua desalada unitaria y en su conjunto; además de poder discernir sobre dicho comportamiento seleccionando diferentes condiciones propias de los elementos de OI, que comercialmente se pueden reproducir.

Para el desarrollo de la práctica el alumno deberá introducir las ecuaciones explicadas en los apartados anteriores dentro de la herramienta de cálculo, así como los datos técnicos de la membrana seleccionada estipulados por el fabricante en sus respectivas fichas técnicas. A su vez, se deben elegir también los parámetros de caracterización del agua de alimentación (tanto caudal como concentración de sales).

De cara a este ejemplo práctico debemos tener en cuenta las siguientes restricciones:

- Las membranas usadas son de tipo arrollamiento en espiral
- La concentración de sales en el permeado puede ser despreciable frente a la concentración de sales en la salmuera y en caudal de alimentación ($x_p \ll x_a \ll x_s$)
- Condiciones de presión constante (sin predeterminedar)

Una vez introducidas las ecuaciones y los datos de partida, se obtienen unos resultados en forma de caudal y concentración, que deben ser analizados por alumno. Éste, además, debe ser capaz de correlacionar los distintos elementos de membrana entre sí, trasladando correctamente los datos obtenidos de un elemento hasta el siguiente y así sucesivamente. A continuación, se exponen una serie de figuras a modo de ejemplo. En ellas se puede observar el desarrollo de la actividad a medida que se van añadiendo elementos en la caja de presión. El elemento de membrana empleado en los cálculos es la FILMTEC SW30HR-380 de Dow Chemical⁶.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	ELEMENTO 1							
2	Datos disponibles							
3	<i>Calidad agua</i>		Unidades					
4	Caudal de alimentación (Qa)	1,00	[m ³ /s]					
5	Conc. De sales en la alimentación (x _a)	35000,00	[mg/l]					
6								
7	Elemento de membrana							
8	Rechazo de sales (RS, fabricante)	99,70	%	$RS = [1 - (x_{p1}/x_{a1})] \cdot 100 = 100 - PS$				
9	Factor de conversión (Y, fabricante)	8,00	%	$Y = (Q_{p1}/Q_{a1}) \cdot 100$				
10								
11	Cálculos realizados							
12	Paso de sales (PS)	0,30	%	$PS = 100 - RS$				
13	Caudal de permeado (Qp)	0,08	[m ³ /s]	$Q_{p1} = Y \cdot Q_{a1}$				
14	Caudal de rechazo (Qs)	0,92	[m ³ /s]	$Q_{s1} = Q_{a1} - Q_{p1}$				
15	Conc. De sales en la alimentación (x _a)	105,00	[mg/l]	$x_{p1} \cong PS \cdot x_{a1}$				
16	Conc. De sales en la alimentación (x _a)	37130,43	[mg/l]	$x_{s1} = (Q_{a1} \cdot x_{a1} - Q_{p1} \cdot x_{p1}) / Q_{s1}$				

Figura 4. Análisis de un elemento de membrana con la herramienta informática.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	ELEMENTO 1									
2	Datos disponibles									
3	<i>Calidad agua</i>		Unidades							
4	Caudal de alimentación (Qa)	1,00	[m ³ /s]							
5	Conc. De sales en la alimentación (x _a)	35000,00	[mg/l]							
6										
7	Elemento de membrana									
8	Rechazo de sales (RS, fabricante)	99,70	%	$RS = [1 - (x_{p1}/x_{a1})] \cdot 100 = 100 - PS$						
9	Factor de conversión (Y, fabricante)	8,00	%	$Y = (Q_{p1}/Q_{a1}) \cdot 100$						
10										
11	Cálculos realizados									
12	Paso de sales (PS)	0,30	%	$PS = 100 - RS$						
13	Caudal de permeado (Qp)	0,08	[m ³ /s]	$Q_{p1} = Y \cdot Q_{a1}$						
14	Caudal de rechazo (Qs)	0,92	[m ³ /s]	$Q_{s1} = Q_{a1} - Q_{p1}$						
15	Conc. de sales en el permeado (x _p)	105,00	[mg/l]	$x_{p1} \cong PS \cdot x_{a1}$						
16	Conc. de sales en el rechazo (x _s)	37130,43	[mg/l]	$x_{s1} = (Q_{a1} \cdot x_{a1} - Q_{p1} \cdot x_{p1}) / Q_{s1}$						
17										
18	ELEMENTO 2									
19	Datos disponibles									
20	<i>Calidad agua</i>		Unidades							
21	Caudal de alimentación (Qa)	0,92	[m ³ /s]	$Q_{a2} = Q_{s1}$						
22	Conc. De sales en la alimentación (x _a)	37130,43	[mg/l]	$x_{a2} = x_{s1}$						
23										
24	Elemento de membrana									
25	Rechazo de sales (RS, fabricante)	99,70	%	$RS = [1 - (x_{p2}/x_{a2})] \cdot 100 = 100 - PS$						
26	Factor de conversión (Y, fabricante)	8,00	%	$Y = (Q_{p2}/Q_{a2}) \cdot 100$						
27										
28	Cálculos realizados									
29	Paso de sales (PS)	0,30	%	$PS = 100 - RS$						
30	Caudal de permeado (Qp)	0,07	[m ³ /s]	$Q_{p2} = Y \cdot Q_{a2} = Y \cdot Q_{s1}$						
31	Caudal de rechazo (Qs)	0,85	[m ³ /s]	$Q_{s2} = Q_{a2} - Q_{p2}$						
32	Conc. de sales en el permeado (x _p)	111,39	[mg/l]	$x_{p2} \cong PS \cdot x_{a2}$						
33	Conc. de sales en el rechazo (x _s)	39390,55	[mg/l]	$x_{s2} = (Q_{a2} \cdot x_{a2} - Q_{p2} \cdot x_{p2}) / Q_{s2}$						

Figura 5. Análisis de dos elementos de membrana con la herramienta informática.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	ELEMENTO 1				ELEMENTO 3				
2	Datos disponibles				Datos disponibles				
3	<i>Calidad agua</i>		Unidades		<i>Calidad agua</i>		Unidades		
4	Caudal de alimentación (Qa)	1,00	[m ³ /s]		Caudal de alimentación (Qa)	0,85	[m ³ /s]		
5	Conc. De sales en la alimentación (x _a)	35000,00	[mg/l]		Conc. De sales en la alimentación (x _a)	39390,55	[mg/l]		
6									
7	Elemento de membrana				Elemento de membrana				
8	Rechazo de sales (RS, fabricante)	99,70	%		Rechazo de sales (RS, fabricante)	99,70	%		
9	Factor de conversión (Y, fabricante)	8,00	%		Factor de conversión (Y, fabricante)	8,00	%		
10									
11	Cálculos realizados				Cálculos realizados				
12	Paso de sales (PS)	0,30	%		Paso de sales (PS)	0,30	%		
13	Caudal de permeado (Qp)	0,08	[m ³ /s]		Caudal de permeado (Qp)	0,07	[m ³ /s]		
14	Caudal de rechazo (Qs)	0,92	[m ³ /s]		Caudal de rechazo (Qs)	0,78	[m ³ /s]		
15	Conc. de sales en el permeado (x _p)	105,00	[mg/l]		Conc. de sales en el permeado (x _p)	118,17	[mg/l]		
16	Conc. de sales en el rechazo (x _s)	37130,43	[mg/l]		Conc. de sales en el rechazo (x _s)	41788,23	[mg/l]		
17									
18	ELEMENTO 2								
19	Datos disponibles								
20	<i>Calidad agua</i>		Unidades						
21	Caudal de alimentación (Qa)	0,92	[m ³ /s]						
22	Conc. De sales en la alimentación (x _a)	37130,43	[mg/l]						
23									
24	Elemento de membrana								
25	Rechazo de sales (RS, fabricante)	99,70	%						
26	Factor de conversión (Y, fabricante)	8,00	%						
27									
28	Cálculos realizados								
29	Paso de sales (PS)	0,30	%						
30	Caudal de permeado (Qp)	0,07	[m ³ /s]						
31	Caudal de rechazo (Qs)	0,85	[m ³ /s]						
32	Conc. de sales en el permeado (x _p)	111,39	[mg/l]						
33	Conc. de sales en el rechazo (x _s)	39390,55	[mg/l]						

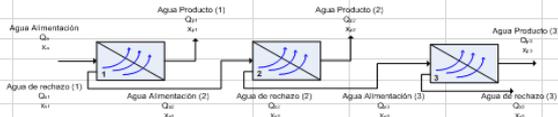


Figura 6. Análisis de tres elementos de membrana con la herramienta informática.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	ELEMENTO 1									
2	Datos disponibles									
3	<i>Calidad agua</i>									
4	Caudal de alimentación (Qa)		$Q_{an}=Q_{s(n-1)}$							
5	Conc. De sales en la alimentación (x _a)		$x_{an}=x_{s(n-1)}$							
6										
7	Elemento de membrana									
8	Rechazo de sales (RS, fabricante)		$RS=[1-(x_{pn}/x_{an})] \cdot 100=100-PS$							
9			$Y=(Q_{pn}/Q_{an}) \cdot 100$							
10	Factor de conversión (Y, fabricante)									
11										
12	Cálculos realizados									
13										
14	Paso de sales (PS)		$PS=100-RS$							
15	Caudal de permeado (Qp)		$Q_{pn}=Y \cdot Q_{an}=Y \cdot Q_{s(n-1)}$							
16	Caudal de rechazo (Qs)		$Q_{sn}=Q_{an}-Q_{pn}$							
17	Conc. De sales en la alimentación (x _a)		$x_{pn} \cong PS \cdot x_{an}$							
18	Conc. De sales en la alimentación (x _a)		$x_{sn}=(Q_{an} \cdot x_{an}-Q_{pn} \cdot x_{pn})/Q_{sn}$							
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										

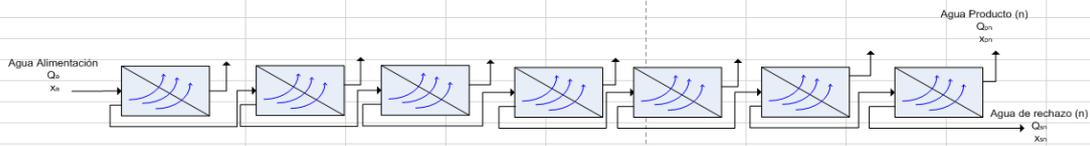


Figura 7. Ecuaciones para el análisis de n elementos.

5. CONCLUSIONES

Con esta práctica, se ha pretendido conseguir una mayor comprensión por parte del alumno en lo que respecta al análisis de los elementos de membrana, su comportamiento en el proceso de osmosis inversa en sí, el concepto de una caja de presión y el manejo de los parámetros de concentración, caudales, conversión y disposición de los elementos en dicha caja. A todo ello hay que concretar que estos cálculos se realizan para membranas de arrollamiento en espiral con unas dimensiones del elemento de membrana concretas, puesto que el área activa del elemento, así como su configuración varían el comportamiento de la misma y, por tanto, las ecuaciones a emplear.

El carácter innovador y teórico de la simulación consigue que el alumno pueda analizar dicho comportamiento de una forma más sencilla y sin necesidad de utilizar software de los fabricantes de membranas, sino únicamente empleando una hoja Excel como herramienta de simulación de libre acceso para la Comunidad Educativa; la cual, les permite analizar las ventajas y los inconvenientes del proceso.

Una vez desarrollada ésta, se dará a conocer en el presente curso académico, en la titulación de Grado en Ingeniería Química Industrial, con la finalidad de recoger las aportaciones de los alumnos para su mejora y su aplicación si procede. Posteriormente se pretende realizar una propuesta de inclusión como actividad reglada para el próximo curso académico “2018/2019” en el proyecto docente de la asignatura “Gestión, diseño y tratamientos de residuos y agua” (Código ULPGC: 4435), propia del Grado en Ingeniería Química Industrial, así como en la asignatura de “Tecnologías avanzadas de desalación y medio ambiente” (Código ULPGC: 50616), propia del Máster Universitario en Tecnologías Industriales.

La práctica concluye con una segunda sesión en la que el alumno comparará los cálculos realizados con la herramienta informática frente a los obtenidos a partir de un programa de simulación comercial propio del fabricante de la membrana seleccionada (muchas de las cuáles no son de fácil acceso para el estudiante). Con ello comprobarán la fiabilidad de los datos obtenidos y analizarán las desviaciones de los resultados propias de ambas simulaciones.

6. REFERENCIAS

- [1] Echeverría, D., Ramos, A., Henríquez, V., Valencia, J., “Desarrollo de un banco de pruebas para caracterizar experimentalmente, en prácticas de laboratorio, el fenómeno de bombeo en una turbomáquina térmica generadora” Slate, 21 February 2017 <<http://hdl.handle.net/10553/20479>> (30 June 2017).
- [2] Ruiz, A., León, F., Ramos, A., “Sistema de medición en continuo de bajo coste para aprender la relación entre la conductividad eléctrica “EC” y la temperatura “T” en aguas salobres” Slate, 21 February 2017 <<http://hdl.handle.net/10553/20495>> (2 July 2017).
- [3] Sadhwani, J. J., Santana, J.J., Melián, N., “La simulación como método de aprendizaje en el diseño de sistemas térmicos empleados en la desalación de agua de mar” Slate, 21 February 2017 <<http://hdl.handle.net/10553/20466>> (19 June 2017).
- [4] Veza, J.M., [Introducción a la Desalación de Aguas], Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 179-192 (2002).
- [5] El-Dessouky, H.T. and Ettouney, H.M., [Fundamentals of Salt Water Desalination], Elsevier, Amsterdam, 410-435 (2002).
- [6] Dow Water & Process Solutions. Tech Manual Expert. Filmtec Membranes. system Operation: Record Keeping. Plant Performance. Form No. 609-00426-1106.