

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Organización de la tesis	3
2. Marco Teórico	4
2.1. Osmosis inversa	4
2.1.1. Otros métodos de desalinización	5
2.1.2. Plantas de osmosis inversa en Chile y el mundo	7
2.2. Métodos de síntesis de membranas	8
2.3. Problemas en la osmosis inversa	10
2.3.1. Fouling	10
2.3.2. Polarización de la concentración	11
2.4. Antecedentes de modificación de membranas TFC con nanopartículas inorgánicas	13
2.5. Principios básicos de la caracterización de membranas	16
2.6. Estudios de Osmosis Inversa en plantas de flujo cruzado	18
3. Metodología	19
3.1. Síntesis y caracterización de membranas	19
3.1.1. Preparación del Soporte	19
3.1.2. Preparación de Membrana PA/PSf	20
3.1.3. Morfología superficial	21
3.1.4. Rugosidad	21
3.1.5. Estabilidad química	22
3.2. Descripción del montaje experimental	23
3.3. Automatización de la medición de parámetros	26
3.4. Experimento para determinar rendimiento de membranas	27
3.4.1. Descripción del experimento	27
3.5. Experimento para determinar el efecto de la polarización de la concentración	30
3.6. Análisis anti-adhesión y biocida	31
4. Resultados y discusión	33
4.1. Caracterización morfológica y química de las membranas	33
4.1.1. Rugosidad	33
4.1.2. Hidrofilicidad	35

4.2.	Experimento para determinar rendimiento de membranas	41
4.2.1.	Resultados de pruebas de rendimiento de membranas comerciales . .	41
4.2.2.	Resultados de pruebas de rendimiento de membranas de laboratorio .	43
4.3.	Experimento para determinar el efecto de la polarización de la concentración	51
4.3.1.	Resultados con una membrana comercial	51
4.3.2.	Resultados con una membrana de laboratorio	53
4.4.	Estabilidad química de las membranas	54
4.5.	Imágenes SEM	56
4.6.	Pruebas anti-biofouling	60
4.7.	Resumen de resultados	64
5.	Conclusiones	66
	Bibliografía	69
	Bibliografía	69
	Anexos	72
	A. Fotos de la planta piloto	73
	B. Fotos de las membranas	76

Índice de Tablas

2.1. Principales tecnologías de desalinización distintas a la osmosis inversa.	5
2.2. Principales plantas de desalinización del país y sus características.	7
2.3. Resumen de estudios en membranas TFC modificadas.	14
3.1. Listado de membranas utilizadas	21
3.2. Principales características del experimento de desalinización.	29
4.1. Rugosidad de las membranas.	35
4.2. Ángulo de contacto de membranas estudiadas.	37
4.3. Composición elemental de membrana modificada con CuO 0.25%.	39
4.4. Composición elemental de membrana modificada con CuO 1%.	40
4.5. Composición elemental de membrana modificada con $CuCl_2$ 1%.	40
4.6. Composición elemental de membrana modificada con $Cu(s)$ 1%.	40
4.7. Composición elemental de membrana modificada con TiO_2 1.5%.	40
4.8. Resultados de flux para las membranas comerciales.	42
4.9. Resultados de flux para las membranas de laboratorio.	46
4.10. Volumen permeado cuando el porcentaje de rechazo pasa a ser inferior a 90%.	50
4.11. Parámetros aproximaciones lineales para la membrana comercial.	52
4.12. Parámetros aproximaciones lineales para la membrana de laboratorio.	53
4.13. Porcentaje de anti-adhesión y de bacterias muertas/vivas en membranas modificadas con CuO en distintas concentraciones.	62
4.14. Resumen de características de las membranas estudiadas. Anti-Adhesión: Indica el porcentaje de partículas no adheridas en comparación a la membrana sin modificar. Bactericida: Indica la cantidad de bacterias muertas en la membrana del total disponible.	64
4.15. Resumen de características de las membranas estudiadas. Volumen permeado indica la cantidad permeada antes de que el rechazo sea inferior al 90%.	64

Índice de Ilustraciones

2.1.	(a) Osmosis directa. (b) Osmosis inversa.	4
2.2.	Tipos de estructuras de capa de PSf. Imágenes propias obtenidas mediante <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).	9
2.3.	Reacción en cadena de MPD con TMC para formar poliamida.	9
2.4.	Esquema de los distintos tipos de <i>fouling</i> en una membrana de osmosis inversa.	10
2.5.	Efecto de Donnan en una membrana con carga electrostática negativa.	11
2.6.	Esquema representando la saturación de la membrana por partículas de sal debido a la polarización de la concentración.	12
2.7.	Ángulo de contacto de una gota de agua sobre la membrana. θ_c : Ángulo de contacto.	17
2.8.	Esquema del flujo cruzado.	18
3.1.	Esquema del proceso de síntesis de soporte PSf mediante la inversión de fase.	19
3.2.	Esquema del proceso de síntesis de capa de PA sobre soporte de PSf mediante la polimerización interfacial.	20
3.3.	Esquema del montaje experimental. V1: Válvula reguladora de presión operacional. V2: Válvula reguladora de caudal de rechazo. V3: Válvula estanque más NaCl. V4: Válvula estanque con agua desmineralizada. B: Bomba de desplazamiento positivo. C: Celda de prueba, lugar donde va ubicada la membrana.	23
3.4.	Celda de prueba CF042D. 1: Perillas de ajuste. 2: Placa superior. 3: Parte superior de la celda. 4: Soporte metálico sinterizado. 5: O-ring de goma. 6: Parte inferior de la celda. 7: Placa inferior. Fuente: CF042D Crossflow Cell Assembly and Operation Manual (2016) Web: https://www.sterlitech.com/media/wysiwyg/pdfs/Manual_CF042D.2016.1.pdf	25
3.5.	Sistema para la medición del flux permeado.	26
3.6.	Relación entre medición del sensor y volumen de agua.	27
3.7.	Preparación de cultivo de bacterias <i>Escherichia coli</i> para ser utilizadas en pruebas anti-adhesión y biocidas.	31
3.8.	Utilizando el cultivo de bacterias producido anteriormente, se prepara un trozo de membrana para probar sus propiedades anti-adhesión (parte superior). Adicionalmente, se extraen 50 μL del cultivo de bacterias luego de que la membrana ha estado sumergida en este para verificar sus propiedades biocidas (parte inferior).	32
4.1.	Imagen de AFM de membranas modificadas con <i>CuO</i>	33
4.2.	Imagen de AFM de membranas modificadas con <i>Cu(s)</i>	34

4.3. Imagen de AFM de las membranas. A) PSf B) PA/PSf C) PA(TiO_2 1.5 %)/PSf	34
4.4. Ángulo de contacto de membranas modificadas con CuO .	36
4.5. Ángulo de contacto de membranas modificadas con $CuCl_2$.	36
4.6. Ángulo de contacto de membranas modificadas con $Cu(s)$.	36
4.7. Ángulo de contacto de las membranas. A) PA B) PA/PSf C) PA(TiO_2 1.5 %)/PSf.	37
4.8. Análisis EDX de membranas modificadas con CuO .	38
4.9. Análisis EDX de la membrana PA($CuCl_2$ 1 %)/PSf.	38
4.10. PA($Cu(s)$ 1 %)/PSf.	39
4.11. Análisis EDX de la membrana PA(TiO_2 1.5 %)/PSf	39
4.12. Flux permeado en el tiempo a través de membrana comercial. Experimentos a 300 <i>psi</i> .	42
4.13. Porcentaje de rechazo de sales en el tiempo. Experimento a 300 <i>psi</i> .	43
4.14. Flux permeado en el tiempo a través de membranas de laboratorio. Experimentos a 300 <i>psi</i> .	44
4.15. Comparación de flux de membrana comercial, sin nanopartículas y modificadas.	45
4.16. Rendimiento de desalinización en el tiempo. Experimento a 300 <i>psi</i> .	47
4.17. Flux permeado en el tiempo por membrana PA/PSf. Experimentos a 300 <i>psi</i> .	48
4.18. Rendimiento de desalinización de membrana PA/PSf. Experimentos a 300 <i>psi</i> .	48
4.19. Comparación de rechazo de sales de membrana comercial, sin nanopartículas y modificadas.	49
4.20. Volumen permeado en el tiempo. Experimento a 300 <i>psi</i> .	50
4.21. Variación del flux permeado versus distintas presiones operacionales para la membrana comercial.	52
4.22. Variación del flux permeado versus distintas presiones operacionales para la membrana de laboratorio sin modificar.	53
4.23. Concentración de cobre en el permeado en membranas de laboratorio modificadas con CuO .	54
4.24. Concentración de cobre en el rechazo en membranas de laboratorio modificadas con CuO .	55
4.25. Sección transversal de membrana PA/PSf sin modificación pre uso a 3000 veces el tamaño real.	56
4.26. Sección transversal de membrana PA($CuCl_2$ 1 %)/PSf pre uso. Imagen a 2000 veces el tamaño real.	57
4.27. Sección transversal de membrana PA/PSf sin modificación post uso. a) Vista general a 800 veces el tamaño real. b) Detalle a 2500 veces el tamaño real.	58
4.28. Sección transversal de membrana PA(CuO 1 %)/PSf post uso. a) Vista general a 1200 veces el tamaño real. b) Detalle a 2500 veces el tamaño real.	58
4.29. Distribución de E. Coli en las membranas sin modificar y modificada con CuO 1 %.	60
4.30. Distribución de E. Coli en las membranas modificadas con $CuCl_2$.	60
4.31. Células por mm^2 en membranas sin y con modificación mediante nanopartículas.	61
4.32. Distribución de E. Coli en las membranas (bacterias vivas: verdes y muertas: rojas). a) PA/PSf b) PA(CuO 0.25 %)/PSf c) PA(CuO 1 %)/PSf	61
4.33. Distribución de E. Coli en las membranas (bacterias vivas: verdes y muertas: rojas) en las membranas modificadas con $Cu(s)$.	62
4.34. UFC en membranas sin y con modificación mediante nanopartículas.	63

A.1. <i>Dampener</i> de flujo.	73
A.2. Celda de prueba con una membrana modificada.	74
A.3. Bomba de desplazamiento positivo.	74
A.4. Planta piloto en funcionamiento.	75
B.1. Membrana PA/PSf sin modificación.	76
B.2. Membrana PA(<i>CuO</i> 0.25 %)/PSf.	77
B.3. Membrana PA(<i>CuCl₂</i> 0.25 %)/PSf.	77