



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Tratamientos de Destilación por Membranas en Diversos Tipos de
Emulsiones de Aceite en Agua: Revisión sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES:

Contreras Rojas, Richard (ORCID: 0000-0001-8872-1125)
Maldonado Huamani, Leandro André (ORCID: 0000-0003-4290-8511)

ASESOR:

Dr. Lozano Sulca, Yimi Tom (ORCID: 0000 0002 0803 1261)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2022

DEDICATORIA

A nuestras madres, por habernos forjado como las personas que somos en la actualidad; muchos de nuestros logros se los debemos a ustedes, incluso este. Nos forjaron con disciplina y con algunas libertades, pero al final de cuentas, nos motivaron constantemente para alcanzar nuestros anhelos y metas.

AGRADECIMIENTO

Este nuevo logro profesional es en gran parte gracias a ustedes, por sus esfuerzos y dedicaciones que nos brindaron desde niños para por fin hacernos los profesionales que somos hoy. Gracias a nuestras madres por el apoyo eterno brindado y la fe dejada en nosotros.

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimientos.....	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de gráficos	vi
Índice de abreviaturas	vii
Resumen	viii
Abstract	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA.....	14
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	14
3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización	14
3.3. Escenario de estudio	15
3.4. Participantes	16
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	16
3.6. Procedimiento	16
3.7. Rigor científico.....	18
3.8. Método de análisis de información	18
3.9. Aspectos éticos	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
V. CONCLUSIONES.....	33
VI. RECOMENDACIONES.....	34
REFERENCIAS.....	35
ANEXOS	43

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Diferentes métodos químicos y físicos para la eliminación de aguas residuales aceitosas</i>	<u>7</u>
<i>Tabla 2. Matriz de Categorización Apriorística</i>	<u>15</u>
<i>Tabla 3. Tipos de tratamientos de destilación por membranas</i>	<u>20</u>
<i>Tabla 4. Rendimiento de los tratamientos de destilación por membranas</i>	<u>23</u>
<i>Tabla 5. Condiciones de funcionamiento de los tipos de tratamientos de destilación por membranas</i>	<u>29</u>

Índice de gráficos

<i>Gráfico 1. Efectos de la contaminación por aguas residuales oleosas</i>	6
<i>Gráfico 2. Esquema que representa los principios básicos de la separación por membranas</i>	8
<i>Gráfico 3. Procedimiento de Selección de Investigaciones</i>	17

Resumen

El objetivo principal del estudio fue analizar sistemáticamente los puntos más importantes de la comparación de diversas técnicas de tratamientos de destilación por membranas en diversos tipos de emulsiones de aceite en agua; para lo cual se realizó un estudio de tipo aplicada, lo cual consistió en la revisión de diversos estudios que pasaron por un proceso de selección. Obteniendo que, los tipos de tratamientos de destilación son tanto comerciales como fabricadas; por ejemplo; en las membranas hidrofóbicas comerciales hechas de polipropileno, politetrafluoroetileno y polivinilideno fluoruro son las más usadas; siendo entre ellas el fluoruro de polivinilo el más usado. El rendimiento de los tratamientos demuestra que las membranas compuestas presentan un mejor control del ensuciamiento en comparación con membrana de PVDF prístina. Además, la eficacia y los parámetros de rendimiento de la MD para la separación de la mezcla oleosa dependen no sólo del tipo de membrana utilizada y de la configuración de la MD, sino también de las diferentes condiciones de funcionamiento mantenidas durante el experimento. Por último, la integración de otros procesos de separación con la DM como paso previo al tratamiento ayuda a eliminar el ensuciamiento de la membrana y, por tanto, mejora el rendimiento de la DM.

Palabras clave: Tratamientos de destilación, membranas, emulsiones, contaminación, destilación por membrana

Abstract

The main objective of the study was to systematically analyze the most important points of the comparison of various membrane distillation treatment techniques in different types of oil-in-water emulsions; for which an applied type study was carried out, which consisted of the review of various studies that went through a selection process. Obtaining that, the types of distillation treatments are both commercial and manufactured; for example; in commercial hydrophobic membranes made of polypropylene, polytetrafluoroethylene and polyvinylidene fluoride are the most used; being among them polyvinyl fluoride the most used. Treatment performance shows that composite membranes show better fouling control compared to pristine PVDF membrane. Moreover, the efficiency and performance parameters of the MD for the separation of the oily mixture depend not only on the type of membrane used and the MD configuration, but also on the different operating conditions maintained during the experiment. Finally, the integration of other separation processes with the MD as a pre-treatment step helps to eliminate membrane fouling and thus improves the performance of the MD.

Keywords: Distillation treatments, membranes, emulsions, fouling, membrane distillation.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas clave en todo el mundo hoy en día es el crecimiento de la población per cápita debido al crecimiento industrial sostenible y a la economía concentrada entre la gente a través de la urbanización (Dada E. et al., 2017, p.1). De este rápido crecimiento surge una correlación lineal entre el aumento de la contaminación y la urbanización, junto con otras necesidades, la demanda de agua dulce ha aumentado excesivamente (Njoku L. et al., 2018, p.2).

Según el Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo de 2017, los sectores agrícola, industrial y doméstico consumen a nivel mundial el 70, el 22 y el 8 % del agua disponible respectivamente, y producen una cantidad sustancial de aguas residuales (Sanghamitra P. et al., 2021, p.2).

Además, una de las principales clases afectadas de la corriente contaminada es el petróleo que provienen del desarrollo industrial, como la petroquímica, el procesamiento de alimentos y el acabado de metales (Wang Yu et al., 2016, p.1). Así también el petróleo en la industria petrolera, la refinación de petróleo, el almacenamiento de petróleo, el transporte y las industrias petroquímicas en el proceso de producción generan gran cantidad de aguas residuales aceitosas (Putatundas S. et al., 2019, p.2).

Siendo las aguas residuales aceitosas, una de las principales amenazas para el medio ambiente en la actualidad (Cercado M. et al., 2019, p.1).

Los aceites mezclados en las aguas residuales pueden ser grasas, hidrocarburos y fracciones de petróleo (por ejemplo, gasóleo, gasolina y queroseno) (Maksimov E. et al., 2016, p.4). Donde, estas aguas residuales que contienen aceites tóxicos pueden provocar graves problemas medioambientales y ser muy perjudiciales para la salud humana (Yu Li et al., 2017, p.1).

Estas aguas residuales contaminadas con aceite son mutagénicas y cancerígenas para la salud humana, así como inhibidoras del crecimiento de las plantas (Fazullin D. et al., 2016, p.1).

Por lo tanto, para satisfacer las necesidades de agua potable, es esencial explorar tecnologías avanzadas de purificación de agua, como las tecnologías de membrana, que son eficaces, fáciles y económicamente viables (Drioli E. et al., 2016, p.1).

Recientemente, las tecnologías de membrana han demostrado ser una tecnología eficaz para separar la mezcla de aceite y agua en comparación con las tecnologías convencionales (El Kadi Khadije et al., 2019, p.2).

Convirtiéndose los procesos de separación por membrana en una tecnología emergente para el tratamiento de aguas residuales aceitosas debido a la alta eficiencia de eliminación de aceite y al proceso operativo relativamente sencillo (Padik M. et al., 2016, p.1). Así mismo, la Destilación por Membrana (MD) es una tecnología emergente que ha estado muy marcada por su bajo requerimiento energético y su alta eficiencia de desalinización (Wang P. y Chun T., 2016, p.2).

Ante lo expuesto; se estableció la siguiente pregunta: ¿Cuáles son los puntos más importantes de la comparación de diversas técnicas de tratamientos de destilación por membranas en diversos tipos de emulsiones de aceite en agua?, generando con ellos los siguientes problemas específicos:

PE1: ¿Cuáles son los tipos de tratamientos de destilación por membranas usados por los investigadores a nivel mundial para el tratamiento de emulsiones de aceite en agua?

PE2: ¿Cuál es el rendimiento de los tratamientos de destilación por membranas usadas por los investigadores para el tratamiento de emulsiones de aceite en agua?

PE3: ¿Cuáles son las condiciones de funcionamiento de los tipos de tratamientos de destilación por membranas usados por los investigadores a nivel mundial para el tratamiento de emulsiones de aceite en agua?

Es así que como objetivo de estudio se tiene: Analizar sistemáticamente los puntos más importantes de la comparación de diversas técnicas de tratamientos de destilación por membranas en diversos tipos de emulsiones de aceite en agua; y como objetivos específicos:

OE1: Clasificar cuáles son los tipos de tratamientos de destilación por membranas usados por los investigadores a nivel mundial para el tratamiento de emulsiones de aceite en agua

OE2: Determinar cuál es el rendimiento de los tratamientos de destilación por membranas usadas por los investigadores para el tratamiento de emulsiones de aceite en agua

OE3: Identificar cuáles son las condiciones de funcionamiento de los tipos de tratamientos de destilación por membranas usados por los investigadores a nivel mundial para el tratamiento de emulsiones de aceite en agua

El presente estudio tiene como finalidad encontrar mediante la comparación de diversos estudios a nivel mundial una tecnología eficaz para tratar las aguas residuales que contienen aceite es muy deseada para la protección del medio ambiente; por tal motivo este estudio presenta una justificación teórica, ya que, se recopilarán estudios actualizados que traten de la problemática planteada, siendo dirigido el trabajo a los estudiantes y futuros investigadores, para ampliar sus conocimientos y que puedan continuar con la investigación en el campo práctico.

II. MARCO TEÓRICO

Uno de los problemas más generalizados que afligen a las personas en todo el mundo es el acceso inadecuado al agua potable y al saneamiento, donde el rápido crecimiento de la población y de la economía ha provocado una mayor demanda de agua limpia, especialmente en las zonas con problemas de agua (Arzaghi E. et al., 2018, p.2).

Por lo tanto, los recursos superficiales actuales ya no serán suficientes para satisfacer las necesidades de las generaciones futuras (Bullock Robin J., et al., 2017, p.3).

Así también, con ello, el rápido crecimiento industrial, como el de las industrias del petróleo y el gas, la petroquímica, la farmacéutica, la metalúrgica y la alimentaria, han provocado una gran producción de aguas residuales oleosas (Boufadel M- et al., 2018, p.2).

Para sintetizar, los aceites y productos petrolíferos están formados por muchos compuestos de hidrocarburos y a menudo contienen nitrógeno, oxígeno, azufre y metales (Bullock Robin J. et al., 2019, p.5). Donde, los compuestos orgánicos de los lodos oleosos se clasifican en 4 grupos diferentes según su estructura química, siendo los alifáticos, los aromáticos, los compuestos que contienen nitrógeno-azufre-oxígeno (NSO) y los asfaltenos (Helle Inari et al., 2016, p.2).

Los alcanos, los cicloalcanos, el benceno, el tolueno, los xilenos, el naftaleno, los fenoles y varios hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) (por ejemplo, los derivados metilados del flúor, el fenantreno, el antraceno, el criseno, el benzofluoreno y el pireno) están presentes en el agua de los lodos oleosos (Almojjly Abdullah et al., 2018, p.2).

En general, los alifáticos y los hidrocarburos aromáticos suelen representar hasta el 75% de los PHC en los lodos oleosos (An Chunjiang et al., 2017, p.1).

Es así que, estas aguas residuales aceitosas u oleosas son una de las principales amenazas para el medio ambiente en la actualidad, se originan principalmente en instalaciones industriales petroquímicas, de metales pesados, de procesamiento de alimentos, de pintura y de automóviles (Bilgili M. et al., 2016, p.2).

Además, el consumo mundial de agua dulce es de 3.928 km³ cada año y el 56% de ésta, es decir, 2.212 km³ anuales, se libera al medio ambiente como aguas residuales de las fuentes mencionadas, según el informe de la ONU de 2017 (Fox Caroline H. et al., 2016, p.3). Y una de las principales clases afectadas de la corriente contaminada son las aguas residuales contaminadas con petróleo que provienen de diversas instalaciones industriales y domésticas (Genc A. Eryilmaz C., 2017, p.1).

También, petroquímica, recortes de metal, pintura, procesamiento de alimentos, industrias productoras de aceite comestible son de aceite comestible son algunos de los contribuyentes conocidos de aguas residuales aceitosas que contaminan notablemente la corriente acuática (Dada et al. 2018, p.1). Sin embargo, los recursos domésticos como los residuos de la cocina, las fugas de aceite de los dispositivos mecánicos y las actividades humanas también han sido considerados como los otros recursos potentes para la generación de aguas residuales aceitosas (Hu Guangji et al., 2020, p.5).

Donde los antecedentes de contaminación de aguas residuales aceitosas en China proporcionan la emisión máxima permitida de concentración de aguas residuales aceitosas de 10 mg/L (Etchepare R. et al., 2017, p.2).

Estos compuestos oleosos derramados en el agua sufren una serie de procesos que, combinados, se denominan meteorización y provocan cambios en las propiedades físicas y químicas del contaminante oleoso (Oliveira H. et al., 2017, p.1). Así también, los cambios en la composición química de los hidrocarburos derramados pueden afectar a su impacto biológico a lo largo del tiempo y complicar la identificación de los hidrocarburos residuales en el entorno afectado (Hmidi Khaoula et al., 2017, p.2).

Al verse obligada la comunidad humana a beber agua contaminada o insalubre debido a la insuficiencia de agua potable, ello provoca efectos negativos en su salud, al mismo tiempo que la comunidad biológica también es maltratada por el agua que contiene componentes químicos (Fard Ahmad K. et al., 2016, p.6).

Así también las aguas contaminadas con derrames de aceites generan contaminación en el medio ambiente y la biodiversidad, siendo detallado en el gráfico 1 los efectos causados por aguas residuales oleosas.

Gráfico N°1. Efectos de la contaminación por aguas residuales oleosas



Elaboración propia

Por lo tanto, el tratamiento de aguas residuales aceitosas se necesita con urgencia en el campo actual de los problemas de ingeniería ambiental; debido a ello, el mercado de la tecnología de membranas está experimentando una era de rápido crecimiento debido a la continua investigación y desarrollo tanto en el mundo académico como en la industria privada (Nogueira A. et al., 2016, p.1).

Además, la tecnología de membranas también se ha introducido recientemente como una técnica eficaz para separar la mezcla de aceite y agua debido a su capacidad para eliminar eficazmente las gotas de aceite en comparación con las tecnologías convencionales actuales (Noor Mohamed H. et al., 2020, p.3).

Existen varios métodos para la depuración de las aguas residuales oleosas, incluyendo los métodos físicos y químicos convencionales. La tabla 1 muestra los métodos químicos y físicos para el tratamiento de aguas residuales oleosas con sus ventajas y desventajas.

Tabla N°1: Diferentes métodos químicos y físicos para la eliminación de aguas residuales aceitosas

MÉTODOS DE PURIFICACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Extracción con disolvente	Método eficaz y proceso muy rápido	Alto coste y no apto para el medio ambiente, los metales pesados no pueden ser eliminados por este proceso
Centrifugación	Fácil de procesar, sin necesidad de ningún disolvente y ambientalmente seguro	Requiere gran cantidad de energía, es económicamente inadecuado y las moléculas de menor tamaño moléculas difíciles de asentar.
Flotación de la Fortaleza	Fácil de aplicar y requiere menos energía	Las aguas residuales aceitosas altamente viscosas no pueden ofrecerse a este proceso
Irradiación ultrasónica	Rápido y eficaz, sin necesidad de productos químicos	Coste del equipo pesado, incapaz de tratar los metales pesados
EOR tensoactivo	Fácil de procesar y aplicación limitada en metales pesados	Alto coste, el tensoactivo debe ser tóxico, se requiere un proceso alternativo para eliminar tensoactivo y económicamente costoso
Congelación/descongelación	Proceso de tratamiento corto y adecuado para regiones frías	Proceso menos efectivo y costero
Irradiación por microondas	Muy rápido y eficaz y sin necesidad de añadir productos químicos	Equipo especialmente diseñado, muy costoso y no efectivo para procesos a gran escala proceso a gran escala
Electrocínética	No es necesario añadir productos químicos y el proceso es rápido	El proceso no es fácil y menos efectivo
Pirolisis	Gran capacidad de tratamiento, rápida y eficaz	Elevado coste de capital, mantenimiento y funcionamiento
Estabilización/solidificación	Rápido y eficiente para producir compuestos	Pérdida de energía reciclable y menos eficaz en el proceso

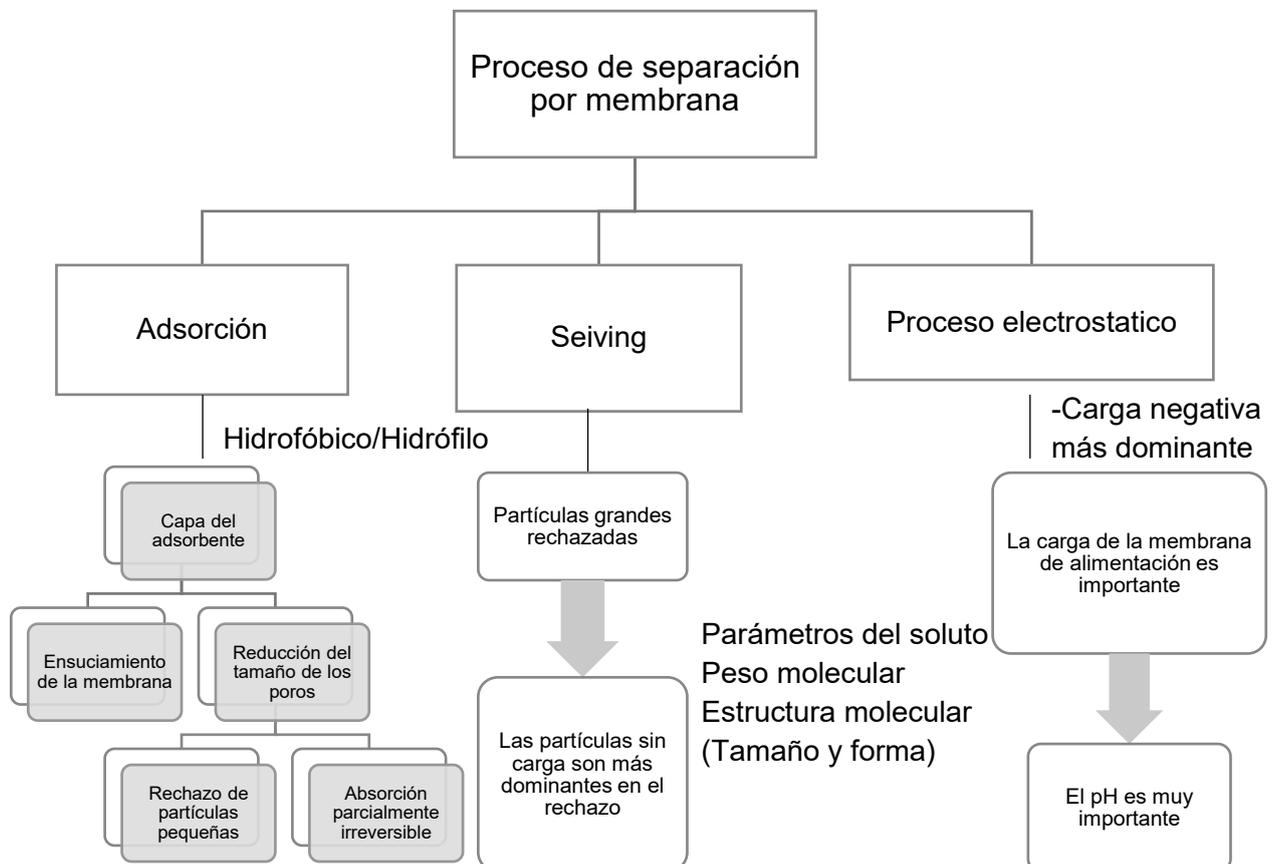
	estabilizados con PHC, bajo coste y captura de los metales pesados	
--	--	--

Fuente: Padaki Mahesh et al., (2016)

La adsorción (carbón activado, organoarcilla, copolímeros, zeolitas y resinas), el filtro de arena, los ciclones y la evaporación son los tratamientos físicos y la oxidación, el proceso electroquímico, el tratamiento fotocatalítico, el proceso Fenton, el tratamiento con ozono, los líquidos iónicos a temperatura ambiente y el demulsificador son los métodos de tratamiento químico (Zhao Chuanliang et al., 2021, p.1).

Estos métodos convencionales tienen sus propios inconvenientes, como el alto coste, el uso de compuestos tóxicos, el gran espacio para su instalación y la generación de contaminantes secundarios (Peng Shuanglei et al., 2018, p.2). Teniendo en cuenta estos inconvenientes, los procesos de separación por membrana son una tecnología emergente en el siglo XXI (Guo Yanbao et al., 2019, p.5). (Ver gráfico 2).

Gráfico N°2: Esquema que representa los principios básicos de la separación por membranas



Fuente: Nasiri M. et al., (2017)

Los procesos de membrana impulsados por la presión consisten principalmente en la adsorción, la toma de muestras y el proceso electrostático, como se muestra en el gráfico 2.

El proceso de separación por membranas es una tecnología emergente para el tratamiento de aguas residuales aceitosas debido a la alta eficiencia de eliminación de aceite y a un proceso operativo relativamente conveniente, sin embargo, la filtración directa provocaría un grave ensuciamiento de la membrana (Rasouli et al., 2017, p.1).

Por el contrario, la permeabilidad de la capacidad de la membrana después de la coagulación/floculación se restablece parcialmente; donde se ha informado de que se producen grandes flóculos en condiciones efectivas de coagulación/floculación, lo que es beneficioso para reducir el ensuciamiento de la membrana y aumentar la transferencia de suciedad de la superficie de la membrana (Almojjly et al., 2018, p.3).

Pero, la destilación por membrana (DM) es un método basado en membranas de accionamiento térmico que presenta varias ventajas reconocidas, como su elevado factor de rechazo de sales (es decir, 99-100%) y su capacidad para tratar soluciones acuosas de alta salinidad hasta la sobresaturación (Han Le et al., 2017, p.1).

Además, la DM funciona a temperaturas inferiores al punto de ebullición de las soluciones acuosas de tratamiento, lo que permite utilizar las fuentes de energía disponibles de otros procesos, como el calor residual y la energía solar, y a presiones hidrostáticas inferiores a las aplicadas en los procesos de presión (Lapointe M. y Barbeau B., 2020, p.5).

Ante lo expuesto se presenta los 10 antecedentes más resaltantes de estudios a nivel mundial que traten de los tratamientos de destilación por membranas en diversos tipos de emulsiones de aceite en agua:

Boo Chanhee et al., 2016, en su estudio presenta un enfoque fácil y escalable para la fabricación de membranas omnifóbicas de fluoruro de polivinilideno (PVDF) que repelen el agua y el aceite. Donde la carga superficial positiva se impartió a una membrana de PVDF tratada con alcalina mediante la funcionalización con aminosilano, lo que permitió la unión irreversible de nanopartículas de sílice cargadas

negativamente (SiNP) a la membrana a través de la atracción electrostática. Donde los resultados de las mediciones del ángulo de contacto con aceite mineral y solución de surfactante demostraron que la superposición de SiNP con energía superficial ultrabaja mejoró significativamente la resistencia a la humectación de la membrana frente a líquidos de baja tensión superficial.

Tan Yong Zen et al., 2017, en su estudio presentó como objetivo investigar a través de experimentos y simulaciones el impacto de (i) la orientación del módulo, (ii) la geometría del módulo y (iii) una alimentación aceitosa sobre el flujo de permeado y la propensión a humedecer los poros de la destilación por membrana de contacto directo (DCMD). Donde, tres orientaciones de módulos y cuatro geometrías de canales de alimentación fueron investigados a través de experimentos y simulaciones para alimentos aceitosos. Presentando como resultado que, los ensucadores de partículas con una densidad mucho menor y mayor que el agua solo se depositaron cuando la membrana se orientó respectivamente encima y debajo de la alimentación. En segundo lugar, la falta de consideración de las corrientes de convección, la coalescencia del petróleo y la polarización de temperatura mejorada por torta correspondiente en las simulaciones causó desacuerdo con los resultados experimentales, lo que subraya la importancia de estos factores.

Wang Zhangxin et al., 2016, en su estudio se investigó los impactos de la carga superficial y la propiedad de humectación en la cinética de ensucamiento de aceite en la destilación por membrana (MD). Donde se realizó como metodología experimental la fabricación de dos membranas compuestas con superficies hidrofílicas en el aire y oleofóbicas bajo el agua, una de carga positiva y otra de carga negativa, mediante la modificación de una membrana hidrofóbica de fluoruro de polivinilideno (PVDF) con polielectrolitos hidrofílicos con diferentes cargos. Encontrándose en los resultados que la membrana compuesta cargada negativamente se desempeñó mejor en mitigar el ensucamiento por la emulsión de aceite cargada negativamente, seguida por la membrana compuesta cargada positivamente, siendo la membrana de PVDF prístina la más susceptible al ensucamiento por aceite en los experimentos MD.

Wang Zhangxin et al., 2016, en su artículo científico se fabricó una membrana compuesta para destilación por membrana (MD) mediante la modificación de una membrana hidrofóbica comercial de fluoruro de polivinilideno (PVDF) con un

recubrimiento nanocompuesto que comprende nanopartículas de sílice, hidrogel de quitosano y fluoropolímero. Donde los resultados de este estudio sugieren que el recubrimiento oleofóbico bajo el agua puede mitigar de manera efectiva el ensuciamiento por aceite en las operaciones de MD, y que la membrana compuesta fabricada con humectabilidad asimétrica puede permitir que MD desalinice aguas residuales hipersalinas con altas concentraciones de contaminantes hidrofóbicos. Pudiendo concluir que el recubrimiento oleofóbico bajo el agua puede mitigar de manera efectiva el ensuciamiento por aceite en las operaciones de MD, y que la membrana compuesta fabricada con humectabilidad asimétrica puede permitir que MD desalinice aguas residuales hipersalinas con altas concentraciones de contaminantes hidrofóbicos.

Chen Nick G. et al., 2017, en su investigación científica plantea como objetivo de estudio desarrollar una comprensión fundamental de la relación entre las emulsiones O/W estabilizadas con surfactantes y la superficie de la membrana de fluoruro de polivinilideno (PVDF) en las operaciones de destilación por membrana de contacto directo (DCMD). Donde los efectos de los tipos de surfactantes (Span 20, Tween 20 y dodecilsulfato de sodio), la concentración de aceite y los tipos de aceite (petróleo y aceite de bomba de vacío) se estudiaron sistemáticamente para comprender mejor los mecanismos de ensuciamiento y humectación involucrados. Dando como resultado que la concentración de surfactante y la hidrofobicidad influyó en el comportamiento de ensuciamiento y humectación de la membrana; además, los tensioactivos con un valor de balance hidrofílico-lipofílico (HLB) más bajo podrían hacer que la superficie de la membrana de PVDF sea menos hidrofóbica y causar un ensuciamiento menos severo al restringir la adsorción de gotas de aceite en la superficie de la membrana.

Fard Ahmad K. et al., 2018, presenta objetivo de investigación fabricar y probar una membrana simétrica híbrida de cerámica/carbono de bajo costo y alto rendimiento. Donde la metodología experimental muestra que la membrana híbrida se fabricó mezclando polvo de alúmina con carbón activado en polvo (PAC) de área superficial alta. Obteniendo como resultado que el aumento de la rugosidad de la membrana mejoró el área superficial de la membrana, lo que creó un aumento en el área superficial de la membrana para la ruta de filtración; además, la membrana exhibió una muy alta eficiencia de remoción y retención (más del 99%) de aceite de una emulsión de aceite en agua estabilizada por un surfactante. Pudiendo concluir que la

membrana demostró ser una buena candidata para aplicaciones como el tratamiento de aguas residuales aceitosas o la separación de aceite del agua de mar o del agua producida.

Qiu Haoran et al., 2018, en su estudio aplicó un método novedoso para preparar membranas antiincrustantes para la destilación de membrana mediante la dispersión de óxido de grafeno (GO) en la superficie del canal de las membranas de fluoruro de polivinilideno. Obteniendo como resultado que en comparación con la membrana de PVDF prístina, el comportamiento antiincrustante y el flujo de destilado de las membranas modificadas con GO mejoraron, especialmente cuando se usaba el tensioactivo aniónico como ensuciador, además, el rendimiento antiincrustante mejorado se puede atribuir a los grupos funcionales que contienen oxígeno en GO y la curación de los defectos de los poros de la membrana. Pudiendo concluir que este método puede proporcionar una ruta eficaz para manipular las propiedades de la superficie de los poros de la membrana para la separación antiincrustante sin aumentar la resistencia a la transferencia de masa.

Tang Min et al., 2019, en su artículo desarrolló nuevas membranas de destilación por membrana (MD) antiincrustantes de aceite. Describiendo la metodología experimental donde las membranas compuestas con humectabilidad asimétrica se fabricaron a través de un revestimiento fibroso de poliacrilonitrilo (PAN) electrohilado sobre una membrana de politetrafluoroetileno (PTFE) hidrófobo, seguido de la hidrólisis del revestimiento de PAN con etilendiamina (EDA) y NaOH, respectivamente. Los resultados demuestran que estas dos membranas compuestas exhibieron una excelente superoleofobicidad bajo el agua, con un ángulo de contacto del aceite bajo el agua $>150^\circ$, que se puede atribuir a la estructura superficial fibrosa y reentrante y la hidrofiliidad superficial optimizada del recubrimiento electrohilado. Concluyendo que las nuevas membranas compuestas con humectabilidad asimétrica eran competentes para servir como una membrana MD antiincrustante de aceite para desalinizar aguas residuales salinas y aceitosas desafiantes.

Kharraz Jeha A. et al., 2020, en su estudio diseñó y fabricó una membrana superomnifóbica ensamblada jerárquicamente con tres niveles de estructura reentrante para permitir el tratamiento eficaz de aguas residuales aceitosas hipersalinas y de baja tensión superficial mediante destilación por membrana de

contacto directo (DCMD). Dando como resultado una superficie de membrana superomnifóbica con notables propiedades antihumectantes que repele tanto el agua de alta tensión superficial como los aceites de baja tensión superficial. Obteniendo valores de CA de $160,8 \pm 2,3^\circ$ y $154,3 \pm 1,9^\circ$ para agua y aceite, respectivamente y los cálculos revelaron una alta interfaz líquido-vapor para la membrana fabricada con más del 89 % del área de contacto de las gotas de agua con bolsas de aire atrapadas entre SiNP adyacentes y solo el 11 % entra en contacto con la superficie de la membrana sólida. Además, la alta interfaz líquido-vapor imparte a la membrana una alta repelencia a los líquidos, autolimpieza y efectos resbaladizos, caracterizados por una mínima interacción gota-membrana y un rebote completo de las gotas de agua en la superficie en solo 18 ms.

Chen Nick G. et al., 2017, en su estudio se fabricó una membrana compuesta de fibra hueca mediante la codeposición en un solo paso de polidopamina (PDA)/polietilenimina (PEI) en la superficie exterior de un sustrato comercial de fluoruro de polivinilideno hidrofóbico (PVDF). Donde los resultados muestran que en comparación con la membrana de PVDF prístina, la membrana modificada exhibió una prometedora propiedad de resistencia a la humectación frente a diferentes tipos de tensioactivos y una excelente propiedad de resistencia al ensuciamiento frente a tensioactivos no iónicos y catiónicos; además, la membrana modificada presentó un desempeño prometedor a largo plazo cuando se alimentó con un compuesto de petróleo en agua estabilizado con surfactante catiónico emulsión que imita el agua producida, durante la cual se mantuvo un flujo estable y una excelente calidad de permeado durante los 7 días de operación.

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y Diseño de Investigación

El tipo de investigación es aplicada ya que se busca absolver el problema específico basándose de estudios previos para su futura aplicación (Ceroni M et al., 2010, p.4). También, la investigación aplicada mide la eficacia para solucionar un problema aplicando el conocimiento científico (Siri et al., 2018, p.14). Es así, que en el presente estudio se busca ilustrar las diferentes literaturas científicas para comprender el tratamiento de destilación por membranas.

El tipo de diseño de investigación es cualitativa ya que el objetivo principal es comprender la realidad de los individuos o grupos culturales (Salgado A. et al., 2007, p.71). Siendo este estudio cualitativo, ningún acontecimiento se dará por hecho, de lo contrario, se analizará y se estudiará los acontecimientos descritos por los autores.

El tipo de diseño es narrativo de tópico, ya que se va utilizar las experiencias de los investigadores a través de la temática narrativa (Salgado A. et al., 2007, p.3). Es por tal motivo que el presente estudio de investigación empleará un diseño narrativo, ya que, se va tomar en cuenta las experiencias encontradas de los tipos de emulsiones de aceite en agua.

3.2 Categoría, subcategoría y matriz de categorización

Las categorías fueron divididas, de acuerdo a los problemas y objetivos, en categorías y sub categorías; los cuales se detallan a continuación.

Tabla N° 2: Matriz de Categorización Apriorística

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Unidad de análisis
Determinar los tipos de tratamientos de destilación por membranas usados por los investigadores a nivel mundial para el tratamiento de emulsiones de aceite en agua	¿Cuáles son los tipos de tratamientos de destilación por membranas usados por los investigadores a nivel mundial para el tratamiento de emulsiones de aceite en agua?	Tipos de tratamientos de destilación por membranas (Chen Nick G. et al., 2017)	Membrana omnifóbica de PVDF Membrana compuesta de PVDF Membrana de microfiltración	(Peng Shuanglei et al., 2018, p.2), (Guo Yanbao et al., 2019, p.5), (Zhao Chuanliang et al., 2021, p.1).
Determinar el rendimiento de los tratamientos de destilación por membranas usadas por los investigadores para el tratamiento de emulsiones de aceite en agua	¿Cuál es el rendimiento de los tratamientos de destilación por membranas usadas por los investigadores para el tratamiento de emulsiones de aceite en agua?	El rendimiento de los tratamientos de destilación por membranas (Fard Ahmad K. et al., 2018)	Ensuciamiento de la membrana Deterioro de la membrana	(Rasouli et al., 2017, p.1), (Almojjly et al., 2018, p.3), (Han Le et al., 2017, p.1).
Identificar cuáles son las condiciones de funcionamiento de los tipos de tratamientos de destilación por membranas usados por los investigadores a nivel mundial para el tratamiento de emulsiones de aceite en agua	¿Cuáles son las condiciones de funcionamiento de los tipos de tratamientos de destilación por membranas usados por los investigadores a nivel mundial para el tratamiento de emulsiones de aceite en agua?	Funcionamiento de los tipos de tratamientos de destilación por membranas (Lapointe M. y Barbeau B., 2020, p.5)	Temperatura Tipo de membrana Velocidad de la membrana	(Lapointe M. y Barbeau B., 2020, p.5), (Tan Yong Zen et al., 2017, p.3), (Fard Ahmad K. et al., 2018, p.4).

Elaboración propia

3.3 Escenario de estudio

El trabajo de investigación sobre el tratamiento de destilación por membranas en diversos tipos de emulsiones de aceite de agua; toma como escenario de estudio los

lugares donde los autores realizaron sus estudios como laboratorios o campos; siendo descritos estos lugares en los artículos científicos del presente estudio a nivel nacional e internacional.

3.4 Participantes

Los participantes del presente estudio de investigación son las bibliotecas electrónicas donde nos permiten extraer los diferentes artículos científicos; siendo de nuestra utilidad únicamente los tratamientos de destilación por membranas; Los participantes usados en esta investigación son Sciencedirect, Scielo, Scopus, Pubmed.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

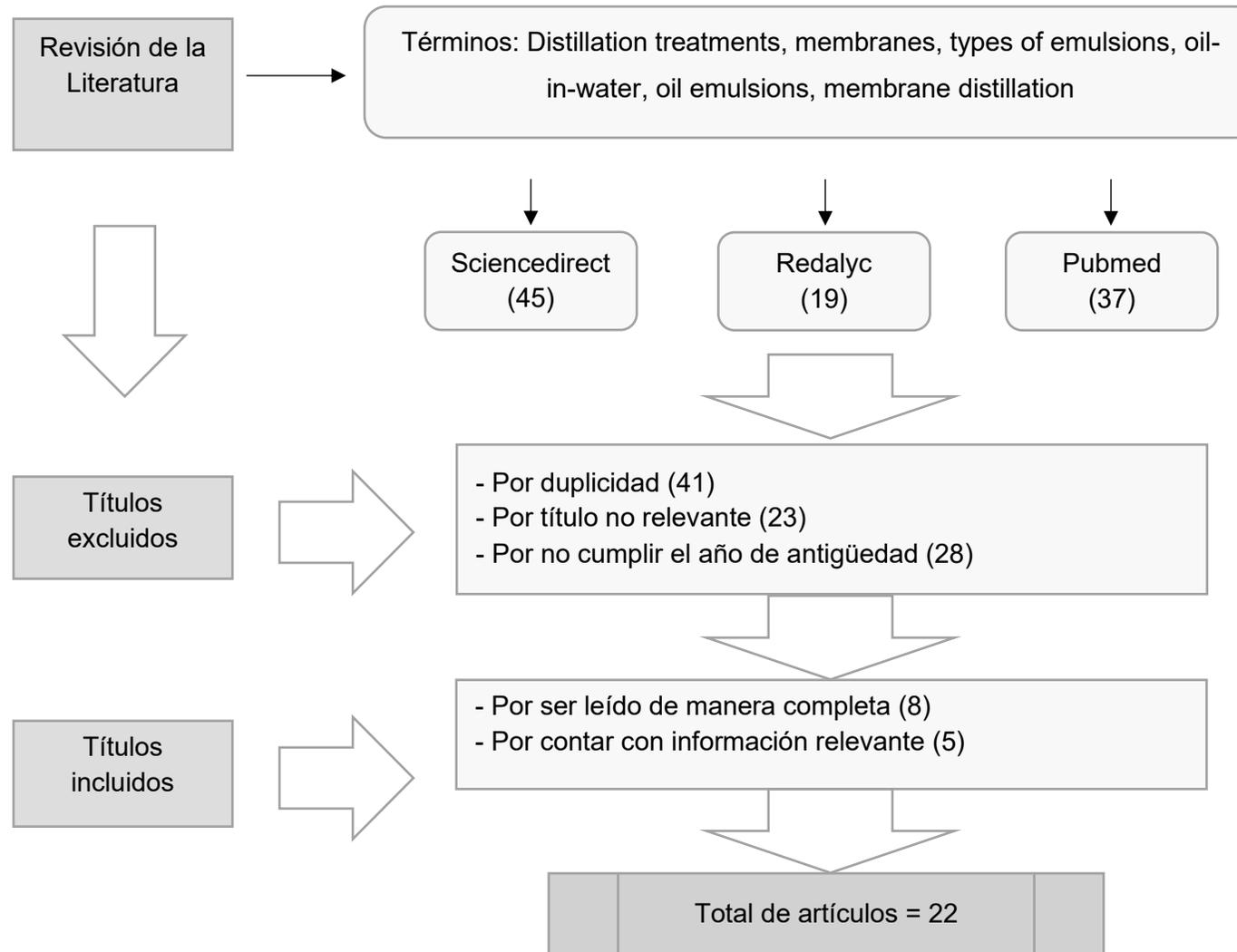
El tipo de técnica usado en este estudio es el de análisis documental; ya que se va comparar estudios sobre el tratamiento de destilación por membranas en diversos tipos de emulsiones de aceite en agua. El análisis documental tiene claramente definido sus etapas y definiciones (Hernandez et al., 2014, p.415).

También, se usó una ficha de recolección de datos, llamado como ficha de análisis de contenido (Ver anexo N°1); en esta ficha se encuentra los datos del autor, año de publicación, lugar de publicación, tipo de investigación, palabras claves, resultados y conclusiones.

3.6 Procedimientos

Los artículos científicos usados en este estudio pasaron por un filtro de selección el cual es descrito a continuación:

Gráfico N°3: Procedimiento de Selección de Investigaciones



Elaboración propia

3.7 Rigor científico

El rigor científico para presentar un estudio de calidad se divide en cuatro criterios (Guba et al., 1989, p.241).

El criterio de la credibilidad, este hace referencia a la veracidad de la información de la recopilación de datos, así como al análisis; para el cual busca diferentes pruebas que permiten asegurar esto (Hamberg K et al., 1994, p.176). Este criterio se cumple entregando las bibliografías de los autores que se usaron para este estudio.

El criterio de dependencia, este criterio está enfocado en la seguridad de la información propuesta y es difícil de obtener ya que los datos extraídos son de otros estudios (Malterud K. et al., 1990, p.132). El criterio de dependencia se cumple amparando los datos brindados mediante las bibliografías entregadas, cuales detallan los autores utilizados.

El criterio de la auditabilidad, se cumple demostrando la objetividad de los datos del estudio, para así otros autores puedan analizar la información y tener la autenticidad de la información entregada (Salgado Lévano, 2007, p.5). Esto se obtiene de los procedimientos y técnicas empleados para poder ser usado por futuros investigadores o cualquier otra persona que desea continuar con el estudio.

El criterio de la transferibilidad, es el poder por el cual se puede pasar la información de un estudio a otro presentado otro escenario. Este criterio se cumple dejando la información sobre el tratamiento de destilación por membranas en diversos tipos de emulsiones de aceite en agua para que pueda ser usado por otros investigadores.

3.8 Método de análisis de la información.

El método usado fue el de la triangulación, ya que nos permite usar diferentes métodos; siendo uno de ellos la matriz apriorística, de la cual se divide en categorías y sub categorías.

TIPO	DESCRIPCION
Categorías	- Funcionamiento de los tipos de tratamientos de destilación
	- Rendimiento de los tratamientos de destilación por membrana
	- Tipos de tratamientos de destilación por membranas
Sub categorías	<ul style="list-style-type: none"> - Membrana omnifóbica de PVDF - Membrana compuesta de PVDF - Membrana de microfiltración
	<ul style="list-style-type: none"> - Ensuciamiento de la membrana - Deterioro de la membrana
	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura - Tipo de membrana - Velocidad de la membrana

3.9 Aspectos éticos

Para el presente estudio se aplicó la normativa vigente con resolución electoral N°0089-2019 establecida por la universidad cesar Vallejo. También, se aplicó la normativa ISO 690 y 690-2 para el uso correcto de las citas de los artículos científicos; de igual manera paso por el programa anti plagio Turnitin, así demostrando que es la información entregada es auténtica.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a la búsqueda de analizar cuáles son los puntos más importantes de la comparación de diversas técnicas de tratamientos de destilación por membranas en diversos tipos de emulsiones de aceite en agua, se buscó resolver los 3 siguientes problemas específicos.

4.1. ¿Cuáles son los tipos de tratamientos de destilación por membranas usados por los investigadores a nivel mundial para el tratamiento de emulsiones de aceite en agua?

Donde los resultados se muestran en la tabla 3.

Tabla N°3: Tipos de tratamientos de destilación por membranas

Aplicación	Tipo de membrana	Autor (es)
<i>Agua producida por el gas de esquisto</i>	Membrana omnifóbica de PVDF	Boo Chanhee et al., 2016
<i>Emulsión de aceite en agua</i>	Membrana de microfiltración de lámina plana hidrofóbica de PVDF	Tan Yong Z. et al., 2017
<i>Emulsión salina de petróleo crudo</i>	Membrana compuesta de PVDF con revestimiento de SiNPs/PDA (polidopamina) (Tipo 1) y revestimiento de SiNPs/PDDA (policloruro de dialildimetilamonio) (Tipo 2)	Wang Zhangxin et al., 2016
<i>Emulsión salina de petróleo crudo</i>	Membrana compuesta de PVDF con revestimiento de CTSPFO/SiNPs	Wang Z. et al., 2016
<i>Emulsión de aceite en agua para bombas de petróleo y de vacío</i>	Membrana de fibra hueca de PVDF disponible en el mercado	Chen Nick G. et al., 2017
<i>Emulsión de petróleo en agua con tensioactivos</i>	Membrana compuesta de fibra hueca de PVDF con revestimiento de PDA inducido por oxidante	Chen Nick Pin et al., 2018
<i>Solución salina SDBS (dodecil benceno sulfonato de sodio)</i>	Membrana compuesta de PVDF modificada con óxido de grafeno (GO)	Qiu Haoran et al., 2018
<i>Emulsión salina de petróleo crudo</i>	Membrana compuesta de PTFE con revestimiento de poliacrilonitrilo (PAN) que se hidroliza con iones de hidróxido (NaOH)	Tang Min et al., 2019

<i>Aguas residuales aceitosas hipersalinas</i>	Membrana superomnifóbica fabricada	Kharraz Jehad A. et al., 2020
<i>Tensioactivo soluciones de varios tipos y emulsión aceite-agua emulsión</i>	Membrana compuesta de fibra hueca de PVDF con revestimiento de PDA /polietilenimina (PEI)	Chen Nick G. et al., 2017
<i>Aguas residuales aceitosas</i>	Membrana nanofibrosa hidrófoba (NFM) y Membrana compuesta de fibra hueca de PVDF hidrofóbico.	Zhu Zhigao et al., 2018
<i>Aceite en agua emulsión se compone de SDS y sal</i>	Membrana omnifóbica de PVDF de estructura jerárquica y con recubrimiento de nanopartículas de sílice (MSFPVDF)	Zheng Rui et al., 2018
<i>Solución salina y aceite en agua emulsión</i>	SGMD Membrana cerámica porosa de SiOC compuesta por polidimetilsiloxano (PDMS) y polisiloxano (PSO) polímeros y, tras la pirólisis, el PDMS transforma la superficie hidrofílica en superhidrófoba con un tamaño de tamaño de los poros	Dong Bin Bin et al., 2019
<i>Una mezcla de sal inorgánica (NaCl, CaCl₂, etc.), sustancias orgánicas (HA), y tensioactivo (SDBS)</i>	Una membrana compuesta superhidrófoba y oleofóbica de PVDF con recubrimiento de nanopartículas de sílice y posteriormente modificada por fluorosilanización	Zhang Wei et al., 2020
<i>Aceite salino en agua hexadecano emulsión</i>	Una membrana Janus PVDF-M-CNT, es decir, una membrana compuesta de PVDF modificada por nanotubos de carbono (CNT) mediante la hidrofiliación y, además, funcionalizada con alcohol polivinílico (PVA) y glutaraldehído (GA)	Han Minyuan et al., 2020
<i>Solución salina de alimentación con SDS (dodecilsulfonato de sodio) como tensioactivo</i>	Membrana de polisulfona anfifóbica con estructura de doble reentrada; con inclusión de poli (pirrolidona de vinilo), (PVP)	Fan Huiqin et al., 2020

<p><i>Una mezcla de compuestos orgánicos, inorgánicos, tensioactivos y petróleo crudo como simulando aguas residuales</i></p>	<p>Membranas Janus o también PTFE/PP (Politetrafluoretileno/Polipropileno) con humectabilidad asimétrica a través de una estrategia de recubrimiento capa por capa</p>	<p>Li Meng et al., 2020</p>
---	--	-----------------------------

Elaboración propia

En base a los estudios analizados en la tabla 3, se tiene que los tipos de tratamientos de destilación por membranas usados por los investigadores a nivel mundial para el tratamiento de emulsiones de aceite en agua son tanto comerciales como fabricadas; por ejemplo en las membranas hidrofóbicas comerciales hechas de polipropileno (PP), politetrafluoroetileno (PTFE) y polivinilideno fluoruro (PVDF) son las más usadas; siendo entre ellas el fluoruro de polivinilo (PVDF) el más usado siendo corroborado por el 71% de los investigadores estudiados.

Los autores que corroboran la afirmación de los resultados son: Boo Chanhee et al., 2016, Tan Yong Z. et al., 2017, Wang Zhangxin et al., 2016, Wang Z. et al., 2016, Chen Nick G. et al., 2017, Chen Nick Pin et al., 2018, Qiu Haoran et al., 2018, Chen Nick G. et al., 2017, Zhu Zhigao et al., 2018, Zheng Rui et al., 2018, Zhang Wei et al., 2020 y Han Minyuan et al., 2020.

Además, entre la membrana desarrollada por los investigadores se encuentra la membrana compuesta; siendo corroborado por Wang Zhangxin et al., 2016, Wang Z. et al., 2016, Chen Nick Pin et al., 2018, Qiu Haoran et al., 2018, Tang Min et al., 2019, Chen Nick G. et al., 2017, Zhang Wei et al., 2020.

Esta membrana compuesta consiste en una superficie de membrana superior hidrofílica para proporcionar propiedades oleofóbicas y una membrana de soporte inferior o hidrofóbica para mantener la naturaleza fundamental de la membrana MD, es decir, la naturaleza hidrofóbica de la membrana que sólo permite el paso de las moléculas de vapor (Zhang wei et al., 2020, p.4).

Pero ello es rechazado por Wang Kunpeng et al., (2019, p.3); quien manifiesta que esta membrana compuestas o modificadas tienen el efecto contrario en el flujo de

permeado, lo que significa que el aumento de la hidrofobicidad de la membrana reduce el ensuciamiento de la membrana, pero el flujo de permeado también disminuye.

Sin embargo, la presencia de gotas de aceite hace que la superficie de la membrana sea más propensa a la obstrucción y al ensuciamiento de la misma. Esto ha motivado a los investigadores a modificar con éxito la membrana MD comercial existente o a diseñar nuevas membranas superhidrófobas compuestas y Janus, como lo demuestran Li Meng et al., 2020 y Han Minyuan et al., 2020 en la tabla 3.

4.2. ¿Cuál es el rendimiento de los tratamientos de destilación por membranas usadas por los investigadores para el tratamiento de emulsiones de aceite en agua?

Por otro lado, se determinó el segundo problema de estudio de acuerdo al tipo de membrana DM usada, como se muestra en la tabla 4.

Tabla N°4: Rendimiento de los tratamientos de destilación por membranas

TIPO DE MEMBRANA	RENDIMIENTO DE LA MEMBRANA	RENDIMIENTO DE LA DESTILACIÓN POR MEMBRANA (MD)	AUTOR (ES)
MEMBRANA OMNIFÓBICA DE PVDF	Sin ensuciamiento durante 8 horas de funcionamiento	Flujo de permeado MD estable	Boo Chanhee et al., 2016
MEMBRANA DE MICROFILTRACIÓN DE LÁMINA PLANA HIDROFÓBICA DE PVDF	Para el módulo DCMD vertical se observa el peor ensuciamiento de la membrana	La diferente naturaleza del flujo depende de la orientación del módulo MD la orientación del módulo MD y su geometría	Tan Yong Z. et al., 2017
MEMBRANA COMPUESTA DE PVDF CON REVESTIMIENTO DE SINPS/PDA (POLIDOPAMINA) (TIPO 1) Y REVESTIMIENTO DE SINPS/PDDA (POLICLORURO DE	El control del ensuciamiento es mejor en comparación con membrana de PVDF prístina	El flujo fue inferior al de la membrana de PVDF prístina (31 LMH) Tipo 1: 24,3 L m ⁻² h ⁻¹	Wang Zhangxin et al., 2016

DIALILDIMETILAMONIO (TIPO 2)		Tipo 2: 23,6 L m-2 h -1	
MEMBRANA COMPUESTA DE PVDF CON REVESTIMIENTO DE CTSPFO/SINPS	Ha mostrado una buena resistencia al ensuciamiento con un flujo de agua estable durante 36 horas de funcionamiento continuo y también junto con la no disminución del flujo	El flujo (26,15 L m-2 h-1) fue inferior al de la membrana de PVDF prístina (30,96 L m-2 h-1) Rechazo de sales ≈100%.	Wang Z. et al., 2016
MEMBRANA DE FIBRA HUECA DE PVDF DISPONIBLE EN EL MERCADO	El ensuciamiento se observó en función de la concentración de tensioactivos y de su valor HLB (equilibrio hidrofílico-lipófilo). Cuanto menor es el valor HLB, menor es el ensuciamiento	El flujo de permeado varía en función del tensioactivo y del tipo de aceite con un flujo de permeado máximo ≈ 22 kg m-2 h -1	Chen Nick G. et al., 2017
MEMBRANA COMPUESTA DE FIBRA HUECA DE PVDF CON REVESTIMIENTO DE PDA INDUCIDO POR OXIDANTE	Rendimiento robusto, sin ensuciamiento y humectación	Flujo estable y rechazo de sales > 99,99%	Chen Nick Pin et al., 2018
MEMBRANA COMPUESTA DE PVDF MODIFICADA CON ÓXIDO DE GRAFENO (GO)	Membrana con el mayor recubrimiento de GO para obtener la mejor característica antiincrustante hasta 5 h	Para 5 h de funcionamiento, se observó un flujo ≈ 21 kg m-2 h -1 comparable al de la membrana virgen de membrana de PVDF	Qiu Haoran et al., 2018
MEMBRANA COMPUESTA DE PTFE CON REVESTIMIENTO DE POLIACRILONITRILLO (PAN) QUE SE HIDROLIZA CON IONES DE HIDRÓXIDO (NAOH)	Rendimiento robusto	El flujo se mantiene estable en ≈ 15,2 kg m-2 h -1 durante más de 70 h de funcionamiento en comparación con la membrana virgen con un flujo inicial de 20 kg m-2 h -1 y reducido a cero en	Tang Min et al., 2019

		11 h Rechazo de sales \approx 100%.	
MEMBRANA SUPEROMNIFÓBICA FABRICADA	No se moja la membrana durante 24 horas de funcionamiento	Flujo estable y rechazo casi completo de la sal en 12 horas de funcionamiento	Kharraz Jehad A. et al., 2020
DCMD MEMBRANA COMPUESTA DE FIBRA HUECA DE PVDF CON REVESTIMIENTO DE PDA /POLIETILENIMINA (PEI)	La membrana modificada presenta buenas propiedades antiincrustantes y antihumectantes	Las propiedades antiincrustantes y antihumectantes de la membrana modificada se investigaron a través de experimentos DCMD mediante la alimentación de una serie de soluciones de baja tensión superficial.	Chen Nick G. et al., 2017
DCMD MEMBRANA NANOFIBROSA HIDRÓFOBA (NFM) Y MEMBRANA COMPUESTA DE FIBRA HUECA DE PVDF HIDROFÓBICO.	No indica	Debido a las propiedades superhidrofílicas, superhidrofóbicas e hidrofóbicas de la membrana Janus desarrollada, se obtuvo un alto flujo de permeado y una gran resistencia al ensuciamiento por aceite y estabilidad de la membrana	Zhu Zhigao et al., 2018
DCMD MEMBRANA OMNIFÓBICA DE PVDF DE ESTRUCTURA JERÁRQUICA Y CON RECUBRIMIENTO DE NANOPARTÍCULAS DE SÍLICE (MSFPVDF)	Para el módulo DCMD vertical se observa el peor ensuciamiento de la membrana	Se consigue un flujo de permeado estable. El ensuciamiento y la humectación de la membrana también son menores a la estructura de la membrana que conduce a un menor tiempo de contacto de los constituyentes de	Zheng Rui et al., 2018

		la emulsión con la superficie	
SGMD MEMBRANA CERÁMICA POROSA DE SIOC COMPUESTA POR POLIDIMETILSILOXANO (PDMS) Y POLISILOXANO (PSO) POLÍMEROS Y, TRAS LA PIRÓLISIS, EL PDMS TRANSFORMA LA SUPERFICIE HIDROFÍLICA EN SUPERHIDRÓFOBA CON UN TAMAÑO DE TAMAÑO DE LOS POROS	Ambos procesos resultan exitosos con una alta tasa de rechazo de aceite y flujo debido a la estrecha distribución del tamaño de los poros	Eliminación de aceite $\approx 95\%$ Eliminación de grasas $> 99.9\%$	Dong Bin Bin et al., 2019
DCMD UNA MEMBRANA COMPUESTA SUPERHIDRÓFOBA Y OLEOFÓBICA DE PVDF CON RECUBRIMIENTO DE NANOPARTÍCULAS DE SÍLICE Y POSTERIORMENTE MODIFICADA POR FLUROSILANIZACIÓN	La membrana modificada presentaba una buena estabilidad química y mecánica con un flujo constante y un rechazo casi completo de las sales.	Eliminación de grasas $\approx 100\%$.	Zhang Wei et al., 2020
DCMD UNA MEMBRANA JANUS PVDF-M-CNT, ES DECIR, UNA MEMBRANA COMPUESTA DE PVDF MODIFICADA POR	La membrana de PVDF-M-CNT muestra un elevado comportamiento antiincrustante debido a la capa de recubrimiento hidrófila de CNT, y la	Eliminación de la sal $> 99.9\%$. En comparación con la membrana virgen, se observó una mejora del flujo debido a las	Han Minyuan et al., 2020

<p>NANOTUBOS DE CARBONO (CNT) MEDIANTE LA HIDROFILIZACIÓN Y, ADEMÁS, FUNCIONALIZADA CON ALCOHOL POLIVINÍLICO (PVA) Y GLUTARALDEHÍDO (GA)</p>	<p>fuerza de adhesión máxima para las gotas de aceite es de 56,5 µN.</p>	<p>elevadas propiedades de transferencia de agua y calor de los CNT.</p>	
<p>DCMD MEMBRANA DE POLISULFONA ANFIFÓBICA CON ESTRUCTURA DE DOBLE REENTRADA; CON INCLUSIÓN DE POLI (PIRROLIDONA DE VINILO), (PVP)</p>	<p>Propiedad única de repulsión de líquidos orgánicos y una tensión superficial muy baja en la membrana desarrollada.</p>	<p>La tasa de de rechazo de la sal es alta. Eliminación de la sal > 99.99%.</p>	<p>Fan Huiqin et al., 2020</p>
<p>DCMD MEMBRANAS JANUS O TAMBIÉN PTFE/PP (POLITETRAFLUORETILENO/POLIPROPILENO) CON HUMECTABILIDAD ASIMÉTRICA A TRAVÉS DE UNA ESTRATEGIA DE RECUBRIMIENTO CAPA POR CAPA</p>	<p>En comparación con la membrana virgen de PTFE/PP, la membrana Janus muestra una menor disminución del flujo, menos cantidad de sal en el flujo, y buenas propiedades antiincrustantes y antihumectantes debido a la capa superior superoleofóbica y una capa de soporte hidrofóbica que provoca la repulsión de las gotas de aceite y SDS y impide su adhesión a la superficie de la membrana</p>	<p>Rechazo de la solución salina ≈ 90% Flujo 19 L m⁻² h⁻¹</p>	<p>Li Meng et al., 2020</p>

Elaboración propia

El rendimiento de los tratamientos de destilación por membranas usadas por los investigadores para el tratamiento de emulsiones de aceite en agua demuestra que

las membranas compuestas presentan como rendimiento de la membrana el control del ensuciamiento mejor en comparación con membrana de PVDF prístina, además de una buena resistencia al ensuciamiento.

Además, también la eficacia y los parámetros de rendimiento de la MD para la separación de la mezcla oleosa dependen no sólo del tipo de membrana utilizada y de la configuración de la MD, sino también de las diferentes condiciones de funcionamiento mantenidas durante el experimento.

Quedando demostrado por los diversos estudios que hasta ahora la mayoría de los estudios para la separación de aceite en agua se basan en la Destilación por membrana de contacto directo (DCMD); siendo corroborado y respaldado por los estudios de: Chen Nick G. et al., 2017, Zhu Zhigao et al., 2018, Zheng Rui et al., 2018 Zhang Wei et al., 2020, Han Minyuan et al., 2020, Fan Huiqin et al., 2020 y Li Meng et al., 2020.

Mientras que un número muy reducido de publicaciones se basan en la VMD, SGMD y AGMD; como es el caso de Dong Bin Bin et al., 2019, quien se basó en el uso de SGMD para la separación de aceite en agua.

Ello es debido a que la DCMD presenta relativa facilidad de diseño del módulo, bajo coste de funcionamiento y al flujo (Zhu Zhigao et al., 2018, p.2).

Ello es corroborado por Wang Z. et al., 2016, quien menciona que la membrana compuesta de PVDF con revestimiento de CTSPFO/SINPS ha mostrado una buena resistencia al ensuciamiento con un flujo de agua estable durante 36 horas de funcionamiento continuo y también junto con la no disminución del flujo.

Siendo así también respaldado por Chen Nick Pin et al., 2018, quien afirma que la membrana compuesta de fibra hueca de PVDF con revestimiento de PDA inducido por oxidante presenta un rendimiento robusto, sin ensuciamiento y humectación. Así también se encuentran respaldando lo mencionado Qiu Haoran et al., 2018 y Tang Min et al., 2019.

Mientras que por otro lado Zheng Rui et al., 2018, al utilizar la membrana omnifóbica de PVDF de estructura jerárquica y con recubrimiento de nanopartículas de sílice (MSFPVDF), consiguió en su estudio que el rendimiento de la DM presente un flujo de permeado estable y el ensuciamiento y la humectación de la membrana también

son menores a la estructura de la membrana que conduce a un menor tiempo de contacto de los constituyentes de la emulsión con la superficie, lo que resulta favorable; ello a pesar que el rendimiento de la membrana demuestra para el módulo DCMD vertical el peor ensuciamiento de la membrana.

Siendo la afirmación anterior refutada por lo mencionado en el estudio de Chen Nick G. et al., 2017, quien indica que la membrana compuesta de fibra hueca de PVDF con revestimiento de PDA /POLIETILENIMINA (PEI) ha demostrado que el rendimiento de la membrana modificada presenta buenas propiedades antiincrustantes y antihumectantes.

4.3. ¿Cuáles son las condiciones de funcionamiento de los tipos de tratamientos de destilación por membranas usados por los investigadores a nivel mundial para el tratamiento de emulsiones de aceite en agua?

Por otro lado, la identificación del tercer problema de estudio es esencial para determinar la eficacia y los rendimientos de la MD en la separación de la mezcla oleosa; por ello los resultados del estudio se muestran en la tabla 5.

Tabla N°5: Condiciones de funcionamiento de los tipos de tratamientos de destilación por membranas

Proceso híbrido	Condiciones de funcionamiento			Autor (es)
Destilación por membrana - cristalización (MD-C)	Cristalizador Temperatura: $40 \pm 1.0 \text{ }^\circ\text{C}$ Flujo transversal de alimentación velocidad: 25 cm s^{-1}	MD (DCMD) Alimentación Temperatura $60 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ Permeado Temperatura $20 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ Flujo transversal de alimentación velocidad 25 cm s^{-1}	-	Kim Junghyun et al., 2017
Ultrafiltración-Osmosis directa-Destilación por membrana	UF Membrana: Cerámica	FO Membrana: Celulosa Triacetato	MD (DCMD)	Kim Junghyun et al., 2017

(UF-FOMD)	(mezcla de TiO ₂ /ZrO ₂) Tamaño de los poros: 50 kDa Membrana Área: 0.001734 m ²	(CTA) Tamaño de los poros: 0,37 nm Membrana Área: 0.00295 m ² Dibujo de la solución del caudal: 12 L h ⁻¹	Temperatura de alimentación 313-328 K Temperatura del destilado 298 K Alimentación y Destilado Caudal 12 L h ⁻¹	
Electrocoagulación-Osmosis directa-Destilación por membrana (EC-FOMD)	EC Aluminio electrodo con superficie superficie: 0.18 m ² Corriente densidad: 2,78 mA cm	FO Membrana: Celulosa triacetato Membrana Superficie: 0.003375 m ²	MD (DCMD) Alimentación Temperatura 60 °C Caudal de alimentación de 0,7 L min ⁻¹	Sardari K. et al., 2019
Papel de microfiltro modificado de malla de acero inoxidable/vidrio-fotocatalítico-MD (M-SSM/GMFPC-MD)	SSM/GMF Malla de acero inoxidable 304 compuesta por 25 μm de espesor de alambre y CNT dopado con CNT	PC TiO ₂ P25 Fotocatalizador bajo irradiación UV	MD (DCMD) Alimentación Temperatura 333 K Destilado Temperatura 293 K Alimentación y Destilado Caudal: 1,5 L min ⁻¹	Li Chao et al., 2019
Precipitación ablandamiento (PS)- nuez cáscara de nuez filtración (WSF)- MD	PS Alumbre Al ₂ (SO ₄) ₃ 18 · H ₂ O como coagulante	WSM Dos cilíndricos filtro columnas con cáscara de nuez cáscara de nuez Caudal 4,5 L/min	MD Temperatura de alimentación 333 K Temperatura del destilado 293 K Caudal de alimentación 0,4 L min ⁻¹ Caudal de destilado 0,35 L min ⁻¹	Zhang Zuoyou et al., 2019

Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 5, se tiene que las condiciones de funcionamiento de los tipos de tratamientos de destilación por membranas usados por los investigadores a nivel mundial para el tratamiento de emulsiones de aceite en agua se describieron de acuerdo a los cinco procesos híbridos; donde se puede observar que la DCMD es la configuración más popular utilizada para la separación de emulsiones de aceite en agua debido al diseño relativamente fácil del módulo, el bajo coste de operación y el flujo.

Además, se puede deducir que la integración de otros procesos de separación con la DM como paso previo al tratamiento ayuda a eliminar el ensuciamiento de la membrana y, por tanto, mejora el rendimiento de la DM. Siendo ello demostrado por: Kim Junghyun et al., 2017, Sardari K. et al., 2019 y Li Chao et al., 2019.

Así también lo demuestra Zhang Zuoyou et al., 2019, en la tabla 5, donde el paso de pretratamiento PS ayuda a eliminar los compuestos de partículas y el WSF elimina los COV. Estos pasos contribuyen a un sólido rendimiento de la membrana y a una elevada recuperación de agua durante la etapa de DM; observando una reducción del 93% y del 84% de los compuestos TVPH y TRPH con respecto a su concentración inicial.

Además, tras el análisis y comparación de las investigaciones realizadas por varios autores, también se analizó el efecto del tipo de membrana y la influencia de la etapa de pretratamiento en el proceso de DM; donde se determinó que la presencia de diferentes contaminantes de baja tensión superficial, como O y G, COV, tensioactivos, sales orgánicas e inorgánicas, partículas, coloides, lodos, etc., y su concentración en las aguas residuales aceitosas provocan un grave ensuciamiento de la membrana y la humectación de los poros; lo que lleva como resultado final a la disminución del flujo de permeado y de la recuperación.

Ello es demostrado por Kim Junghyum et al., 2017, en la tabla 4; donde debido a la presencia de contenidos de O y G, el flujo de permeado disminuye después de recoger 800 mL de agua, y la conductividad del permeado también se debió a la humectación de la membrana en el caso del experimento MD, pero en el sistema MDC la tasa de flujo y la conductividad del permeado se retrasaron debido a la

cristalización de los iones que reduce en última instancia la humectación de la membrana.

Pero, también la membrana comercial hidrofóbica proporciona un flujo de permeado inicial elevado, pero pronto se ensucia debido a los compuestos de baja tensión superficial y necesita un lavado químico o con agua para su posterior reutilización y la aplicación de este procedimiento de lavado de forma continua y en un periodo corto no es factible (Li Meng et al., 2020).

V. CONCLUSIONES

Se pudo concluir que en los puntos más importantes de la comparación de diversas técnicas de tratamientos de destilación por membranas el tipo de tratamiento de membrana usada, es esencial, ya que, algunas presentan reducción de su eficiencia por su funcionamiento, por lo que, se ha generado la necesidad de modificar la membrana MD comercial existente o a diseñar nuevas membranas superhidrófobas compuestas y Janus. Debido a ello se detalla las siguientes conclusiones:

Los tipos de tratamientos de destilación por membranas usados por los investigadores a nivel mundial para el tratamiento de emulsiones de aceite en agua son tanto comerciales como fabricadas; por ejemplo; en las membranas hidrofóbicas comerciales hechas de polipropileno (PP), politetrafluoroetileno (PTFE) y polivinilideno fluoruro (PVDF) son las más usadas; siendo entre ellas el fluoruro de polivinilo (PVDF) el más usado siendo corroborado por el 71% de los investigadores estudiados.

El rendimiento de los tratamientos de destilación por membranas usadas por los investigadores para el tratamiento de emulsiones de aceite en agua demuestra que las membranas compuestas presentan como rendimiento de la membrana el control del ensuciamiento mejor en comparación con membrana de PVDF prístina, además de una buena resistencia al ensuciamiento. Además, también la eficacia y los parámetros de rendimiento de la MD para la separación de la mezcla oleosa dependen no sólo del tipo de membrana utilizada y de la configuración de la MD, sino también de las diferentes condiciones de funcionamiento mantenidas durante el experimento.

Las condiciones de funcionamiento de los tipos de tratamientos de destilación por membranas usados por los investigadores a nivel mundial para el tratamiento de emulsiones de aceite en agua se describieron de acuerdo a los cinco procesos híbridos; donde se puede observar que la DCMD es la configuración más popular utilizada para la separación de emulsiones de aceite en agua debido al diseño relativamente fácil del módulo, el bajo coste de operación y el flujo. Además, se puede deducir que la integración de otros procesos de separación con la DM como paso previo al tratamiento ayuda a eliminar el ensuciamiento de la membrana y, por tanto, mejora el rendimiento de la DM.

VI. RECOMENDACIONES

En base al estudio realizado se puede realizar las siguientes recomendaciones prácticas a los futuros investigadores:

- Se recomienda realizar estudios mediante la elaboración de membranas, ya que, es muy importante desarrollar una membrana que tenga tanto propiedades antiincrustantes como un flujo estable.
- Se recomienda realizar estudios enfocados en las principales variables operativas que afectan al rendimiento de la DM, ya que, mediante los estudios realizados, estos son la temperatura de entrada de la alimentación, el caudal de alimentación, la temperatura del permeado y el caudal de permeado; pero se requieren de mayores estudios centrados en las variables que afectan al rendimiento de la DM.
- También se debe enfocar en la regeneración de las membranas sucias o mojadas para hacerlas recuperables; ya que, también es un punto importante de investigación.

REFERENCIAS

1. ALMOJJLY, Abdullah, et al. Removal of oil from oil-water emulsion by hybrid coagulation/sand filter as pre-treatment. *Journal of water process engineering*, 2018, vol. 26, p. 17-27. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.09.004>
2. AN, Chunjiang, et al. Emerging usage of electrocoagulation technology for oil removal from wastewater: A review. *Science of the Total Environment*, 2017, vol. 579, p. 537-556. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.062>
3. ARZAGHI, Ehsan, et al. An ecological risk assessment model for Arctic oil spills from a subsea pipeline. *Marine pollution bulletin*, 2018, vol. 135, p. 1117-1127. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.08.030>
4. BILGILI, Mehmet Sinan, et al. Batch and continuous treatability of oily wastewaters from port waste reception facilities: A pilot scale study. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 2016, vol. 760, p. 119-126. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2015.11.024>
5. BOO, Chanhee; LEE, Jongho; ELIMELECH, Menachem. Omniphobic polyvinylidene fluoride (PVDF) membrane for desalination of shale gas produced water by membrane distillation. *Environmental science & technology*, 2016, vol. 50, no 22, p. 12275-12282. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b03882>
6. BOUFADEL, Michel C., et al. On the transport and modeling of dispersed oil under ice. *Marine pollution bulletin*, 2018, vol. 135, p. 569-580. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.07.046>
7. BULLOCK, Robin J., et al. Scale-up considerations for surface collecting agent assisted in-situ burn crude oil spill response experiments in the Arctic: Laboratory to field-scale investigations. *Journal of environmental management*, 2017, vol. 190, p. 266-273. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.044>

8. BULLOCK, Robin J.; PERKINS, Robert A.; AGGARWAL, Srijan. In-situ burning with chemical herders for Arctic oil spill response: Meta-analysis and review. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 675, p. 705-716. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.127>
9. CERCADO, Maria Eugenia Jimenez, et al. Absorción de aceites y grasas en aguas residuales de lavadoras y lubricadoras de vehículos utilizando absorbentes naturales. 2019. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17993/3ctecno/2019.v8n3e31.12-23>
10. CHEW, Nick Guan Pin, et al. Surfactant effects on water recovery from produced water via direct-contact membrane distillation. *Journal of Membrane Science*, 2017, vol. 528, p. 126-134. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2017.01.024>
11. CHEW, Nick Guan Pin, et al. Superoleophobic surface modification for robust membrane distillation performance. *Journal of Membrane Science*, 2017, vol. 541, p. 162-173. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2017.06.089>
12. CHEW, Nick Guan Pin, et al. Polyvinylidene fluoride membrane modification via oxidant-induced dopamine polymerization for sustainable direct-contact membrane distillation. *Journal of Membrane Science*, 2018, vol. 563, p. 31-42. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2018.05.035>
13. DADA, E. O.; AKINOLA, M. O.; HARUNA, Rekiyat. Physico-chemical and genotoxicity assessments of palm oil mill effluent generated by a corporate refinery in Nigeria. 2017. Disponible en: <https://ir.unilag.edu.ng/handle/123456789/5388>
14. DONG, Bin-Bin, et al. Polymer-derived porous SiOC ceramic membranes for efficient oil-water separation and membrane distillation. *Journal of Membrane Science*, 2019, vol. 579, p. 111-119. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2019.02.066>
15. DRIOLI, Enrico; ALI, Aamer; MACEDONIO, Francesca. Membrane distillation: Recent developments and perspectives. *Desalination*, 2015, vol. 356, p. 56-84. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.10.028>

16. EL KADI, Khadije, et al. Refinery processed water treatment via the low energy Direct Contact Membrane Distillation (DCMD). *Oil & Gas Science and Technology–Revue d'IFP Energies nouvelles*, 2019, vol. 74, p. 3. Disponible en: <https://doi.org/10.2516/ogst/2018077>
17. ETCHEPARE, R., et al. Separation of emulsified crude oil in saline water by dissolved air flotation with micro and nanobubbles. *Separation and Purification Technology*, 2017, vol. 186, p. 326-332. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.06.007>
18. FAN, Huiqin, et al. A facile strategy towards developing amphiphobic polysulfone membrane with double Re-entrant structure for membrane distillation. *Journal of Membrane Science*, 2020, vol. 602, p. 117933. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.117933>
19. FARD, Ahmad Kayvani, et al. Enhancing oil removal from water using ferric oxide nanoparticles doped carbon nanotubes adsorbents. *Chemical Engineering Journal*, 2016, vol. 293, p. 90-101. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.02.040>
20. FARD, Ahmad Kayvani, et al. Novel hybrid ceramic/carbon membrane for oil removal. *Journal of Membrane Science*, 2018, vol. 559, p. 42-53. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2018.05.003>
21. FAZULLIN, D. D., et al. Treatment of wastewater containing waste oil. *International Journal of Pharmacy & Technology*, 2016, vol. 8, no 2, p. 14366-14374. ISBN: 14366-14374
22. FOX, Caroline H., et al. A preliminary spatial assessment of risk: Marine birds and chronic oil pollution on Canada's Pacific coast. *Science of the Total Environment*, 2016, vol. 573, p. 799-809. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.145>
23. GENÇ, Ayten; ERYILMAZ, Candan. Dependency of removal efficiency on electrode arrangements in the treatment of oily wastewaters by electrocoagulation. *Separation Science and Technology*, 2017, vol. 52, no 9, p. 1594-1601. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01496395.2017.1295997>

24. GUO, Yanbao; ZHANG, Zheng; ZHANG, Siwei. Advances in the application of biomimetic surface engineering in the oil and gas industry. *Friction*, 2019, vol. 7, no 4, p. 289-306. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40544-019-0292-4>
25. HAN, Le, et al. Understanding oily wastewater treatment via membrane distillation. *Journal of Membrane Science*, 2017, vol. 539, p. 284-294. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2017.06.012>
26. HAN, Minyuan, et al. Carbon nanotube based Janus composite membrane of oil fouling resistance for direct contact membrane distillation. *Journal of Membrane Science*, 2020, vol. 607, p. 118078. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118078>
27. HELLE, Inari, et al. A probabilistic approach for a cost-benefit analysis of oil spill management under uncertainty: A Bayesian network model for the Gulf of Finland. *Journal of environmental management*, 2015, vol. 158, p. 122-132. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.04.042>
28. HMIDI, Khaoula; KSENTINI, Issam; MANSOUR, Lassaad Ben. Treatment of olive-pomace oil refinery wastewater using combined coagulation-electroflotation process. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 2017, vol. 39, no 5, p. 275-280. Disponible en: <https://doi.org/10.3103/S1063455X17050046>
29. HU, Guangji, et al. Selection of oil spill response method in Arctic offshore waters: A fuzzy decision tree based framework. *Marine Pollution Bulletin*, 2020, vol. 161, p. 111705. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111705>
30. KHARRAZ, Jehad A., et al. Macro-corrugated and nano-patterned hierarchically structured superomniphobic membrane for treatment of low surface tension oily wastewater by membrane distillation. *Water research*, 2020, vol. 174, p. 115600. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115600>
31. KIM, Junghyun, et al. Membrane distillation (MD) integrated with crystallization (MDC) for shale gas produced water (SGPW) treatment. *Desalination*, 2017, vol. 403, p. 172-178. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.07.045>

32. LAPOINTE, Mathieu; BARBEAU, Benoit. Understanding the roles and characterizing the intrinsic properties of synthetic vs. natural polymers to improve clarification through interparticle Bridging: A review. *Separation and Purification Technology*, 2020, vol. 231, p. 115893. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115893>
33. LI, Chao, et al. Membrane distillation coupled with a novel two-stage pretreatment process for petrochemical wastewater treatment and reuse. *Separation and Purification Technology*, 2019, vol. 224, p. 23-32. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.05.007>
34. LI, Meng, et al. Janus membranes with asymmetric wettability via a layer-by-layer coating strategy for robust membrane distillation. *Journal of Membrane Science*, 2020, vol. 603, p. 118031. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118031>
35. MAKSIMOV, Evgenie Aleksandrovich; KREHEL', Radoslav; POLLÁK, Martin. Prospective systems and technologies for the treatment of wastewater containing oil substances. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2016, vol. 18, no 1, p. 161-170. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10098-015-1003-0>
36. NASIRI, Masoud; JAFARI, Iman; PARNIANKHOY, Behdad. Oil and gas produced water management: a review of treatment technologies, challenges, and opportunities. *Chemical engineering communications*, 2017, vol. 204, no 8, p. 990-1005. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00986445.2017.1330747>
37. NJOKU, L. K.; OKPORUANEFÉ, F. O.; UDE, E. O. Responses of accessions of *Zea mays* to crude oil pollution using growth indices and enzyme activities as markers. 2018. Disponible en: <https://ir.unilag.edu.ng/handle/123456789/5148>
38. NOOR, Mohamed Hizam Mohamed, et al. Synthesis and application of polyacrylamide grafted magnetic cellulose flocculant for palm oil wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2020, vol. 8, no 4, p. 104014. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104014>

39. NOGUEIRA, A. A., et al. Integration of biofiltration and advanced oxidation processes for tertiary treatment of an oil refinery wastewater aiming at water reuse. *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, vol. 23, no 10, p. 9730-9741. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-6034-x>
40. OLIVEIRA, H. A., et al. Separation of emulsified crude oil in saline water by flotation with micro-and nanobubbles generated by a multiphase pump. *Water Science and Technology*, 2017, vol. 76, no 10, p. 2710-2718. Disponible en: <https://doi.org/10.2166/wst.2017.441>
41. PADAKI, Mahesh, et al. Membrane technology enhancement in oil–water separation. A review. *Desalination*, 2015, vol. 357, p. 197-207. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.11.023>
42. PENG, Shuanglei, et al. Synthesis, characterization and evaluation of amphoteric chitosan-based grafting flocculants for removing contaminants with opposite surface charges from oilfield wastewater. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 2018, vol. 93, no 4, p. 968-974. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/jctb.5448>
43. PUTATUNDA, S., et al. A review on the application of different treatment processes for emulsified oily wastewater. *International journal of environmental science and technology*, 2019, vol. 16, no 5, p. 2525-2536. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2055-6>
44. QIU, Haoran, et al. Pore channel surface modification for enhancing anti-fouling membrane distillation. *Applied Surface Science*, 2018, vol. 443, p. 217-226. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.03.004>
45. RASOULI, Yaser; ABBASI, Mohsen; HASHEMIFARD, Seyed Abdollatif. Investigation of in-line coagulation-MF hybrid process for oily wastewater treatment by using novel ceramic membranes. *Journal of Cleaner Production*, 2017, vol. 161, p. 545-559. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.134>
46. SANGHAMITRA, P.; MAZUMDER, Debabrata; MUKHERJEE, Somnath. Treatment of wastewater containing oil and grease by biological method-a

- review. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 2021, vol. 56, no 4, p. 394-412. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10934529.2021.1884468>
47. SARDARI, Kamyar; FYFE, Peter; WICKRAMASINGHE, S. Ranil. Integrated electrocoagulation–Forward osmosis–Membrane distillation for sustainable water recovery from hydraulic fracturing produced water. *Journal of Membrane Science*, 2019, vol. 574, p. 325-337. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2018.12.075>
48. TANG, Min, et al. Anti-oil-fouling hydrophobic-superoleophobic composite membranes for robust membrane distillation performance. *Science of The Total Environment*, 2019, vol. 696, p. 133883. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133883>
49. TAN, Yong Zen, et al. Influence of module orientation and geometry in the membrane distillation of oily seawater. *Desalination*, 2017, vol. 423, p. 111-123. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.09.019>
50. WANG, Kunpeng, et al. Development of a composite membrane with underwater-oleophobic fibrous surface for robust anti-oil-fouling membrane distillation. *Journal of colloid and interface science*, 2019, vol. 537, p. 375-383. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2018.11.040>
51. WANG, Peng; CHUNG, Tai-Shung. Recent advances in membrane distillation processes: Membrane development, configuration design and application exploring. *Journal of membrane science*, 2015, vol. 474, p. 39-56. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2014.09.016>
52. WANG, Yu, et al. An alternative anaerobic treatment process for treatment of heavy oil refinery wastewater containing polar organics. *Biochemical Engineering Journal*, 2016, vol. 105, p. 44-51. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2015.08.012>
53. WANG, Zhangxin, et al. Tailoring surface charge and wetting property for robust oil-fouling mitigation in membrane distillation. *Journal of Membrane Science*, 2016, vol. 516, p. 113-122. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2016.06.011>

54. WANG, Zhangxin; HOU, Deyin; LIN, Shihong. Composite membrane with underwater-oleophobic surface for anti-oil-fouling membrane distillation. *Environmental science & technology*, 2016, vol. 50, no 7, p. 3866-3874. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05976>
55. YU, Li; HAN, Mei; HE, Fang. A review of treating oily wastewater. *Arabian journal of chemistry*, 2017, vol. 10, p. S1913-S1922. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.07.020>
56. ZHANG, Wei, et al. Preparation of re-entrant and anti-fouling PVDF composite membrane with omniphobicity for membrane distillation. *Journal of Membrane Science*, 2020, vol. 595, p. 117563. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2019.117563>
57. ZHANG, Zuoyou, et al. Effective treatment of shale oil and gas produced water by membrane distillation coupled with precipitative softening and walnut shell filtration. *Desalination*, 2019, vol. 454, p. 82-90. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.12.011>
58. ZHAO, Chuanliang, et al. Application of coagulation/flocculation in oily wastewater treatment: A review. *science of the total environment*, 2021, vol. 765, p. 142795. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142795>
59. ZHENG, Rui, et al. Preparation of omniphobic PVDF membrane with hierarchical structure for treating saline oily wastewater using direct contact membrane distillation. *Journal of membrane science*, 2018, vol. 555, p. 197-205. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2018.03.041>
60. ZHU, Zhigao, et al. Breathable and asymmetrically superwetable Janus membrane with robust oil-fouling resistance for durable membrane distillation. *Journal of Membrane Science*, 2018, vol. 563, p. 602-609. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2018.06.028>

ANEXOS

ANEXOS N° 1

 UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO	
DATOS DE LOS AUTORES: NOMBRE(S) <ul style="list-style-type: none">▪ Contreras Rojas, Richard▪ Maldonado Huamani, Leandro André		
PAGINAS UTILIZADAS	50	
AÑO DE PUBLICACION	LUGAR DE PUBLICACION	
2022	Lima, Perú	
TIPO DE INVESTIGACION: Aplicada		
CÓDIGO:	<ul style="list-style-type: none">▪ 7002804360▪ 7002808289	
PALABRAS CLAVES:	Distillation Treatments, membranas, Various Types of Oil-in-Water Emulsions, Oil in Water Emulsions	
RENDIMIENTO DE LOS TRATAMIENTOS DE DESTILACION POR MEMBRANAS	El rendimiento del tratamiento DM es mejor el control de ensusamiento que la membrana de PVDF, además todos los estudios de aceite de agua se basan por contacto directo.	
TIPOS DE LOS TRATAMIENTOS DE DESTILACION POR MEMBRANAS	Los tipos de tratamiento de destilación por membrana es usados a nivel mundial, son tanto comerciales como fabricados.	
FUNCIONAMIENTO DE LOS TIPOS DE TRATAMIENTOS DE DESTILACION POR MEMBRANAS	El funcionamiento a nivel mundial para el tratamiento de emulsiones de aceite de agua es al diseño relativamente fácil al módulo por el bajo costo de operaciones y el flujo.	
RESULTADOS:	Los puntos más importantes de la comparación de diversas técnicas de tratamientos de destilación por membranas el tipo de tratamiento de membrana usada, es esencial, ya que, algunas presentan reducción de su eficiencia por su funcionamiento, por lo que, se ha generado la necesidad de modificar la membrana MD comercial existente o a diseñar nuevas membranas superhidrófobas compuestas y Janus.	

CONCLUSIONES:	La comparación de diversas técnicas de destilación de membrana, ya que presentan reducción de su eficiencia por su funcionamiento que ha generado modificar o diseñar nuevas membranas.
----------------------	---

Elaboración propia