



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN TARAPOTO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



V CICLO DE COMPLEMENTACIÓN ACADÉMICA FIAI-2005

Tecnologías de Micro y Ultrafiltración Aplicadas en Procesos Alimentarios

**Informe de Ingeniería para optar el Título Profesional de Ingeniero
Agroindustrial**

AUTOR:

Bach. Eduardo Peña Muñoz

ASESOR:

Dra. Mari Luz Medina Vivanco

Tarapoto – Perú

2006

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN TARAPOTO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



V CICLO DE COMPLEMENTACIÓN ACADÉMICA FIAI-2005

**Tecnologías de Micro y Ultrafiltración Aplicadas en Procesos
Alimentarios**

**Informe de ingeniería para optar el título Profesional de Ingeniero
Agroindustrial**

AUTOR:

Bach. Eduardo Peña Muñoz

Sustentado y aprobado el día 11 de agosto del 2006, ante el honorable jurado:

.....
Ing. Dr. Jaime Guillermo Guerrero Marina
Presidente

.....
Ing. Mg. Juan José Salazar Díaz
Secretario

.....
Ing. Dr. Manuel Fernando Coronado Jorge
Miembro

.....
Ing. Dra. Mari Luz Medina Vivanco
Asesor

Declaratoria de Autenticidad

Eduardo Peña Muñoz, identificado con DNI N° 00953979, egresado de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con el Informe de Ingeniería titulado: **“TECNOLOGÍAS DE MICRO Y ULTRAFILTRACIÓN APLICADAS EN PROCESOS ALIMENTARIOS”**.

Declaro bajo juramento que:

1. El informe de ingeniería presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, el informe de ingeniería no ha sido plagiado ni total ni parcialmente.
3. El informe de ingeniería no ha sido auto plagiado; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten el informe de ingeniería se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto.

Tarapoto, 11 de agosto del 2006.



.....
Bach. Eduardo Peña Muñoz
DNI N° 00953979



Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	PEÑA MUÑOZ, EDUARDO	
Código de alumno :	982047	Teléfono: 942083599
Correo electrónico :	e.penha77@gmail.com DNI: 00953979	

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
Escuela Profesional de:	INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	()	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	(X)		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título:	TECNOLOGÍAS DE MICRO Y ULTRAFILTRACIÓN APLICADAS EN PROCESOS ALIMENTARIOS.
Año de publicación:	2006

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, una licencia No Exclusiva, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

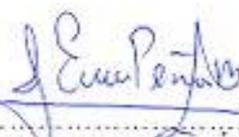
7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".



Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento:

31 / 12 / 2018



Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM - T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

Dedico este trabajo principalmente a Dios Todopoderoso por permitirme llegar a este momento tan importante de mi formación profesional. A mi padre Leoncio y a mi querida madre Bárbara, por haberme dado la vida y por ser el pilar más importante, además de demostrarme siempre su cariño, apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. Ellos, que han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, quienes con sus consejos me ha ayudado a guiarme para culminar mi carrera profesional. Finalmente, a mis hermanos Miguel y Pedro que siempre han estado junto a mi brindándome su apoyo en las buenas y en las diferentes facetas de mi vida.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de cumplir con una de mis metas y darme la sabiduría para poder seguir adelante en todos los objetivos propuestos en un futuro.

Gracias a mi familia en general que ha sido un apoyo incondicional y por estar conmigo durante estos años.

Gracias a mi asesor Dra. Mari Luz Medina Vivanco, por su paciencia, dedicación, motivación, criterio y aliento quien me ayudó a solucionar todos los problemas que se presentaron en el desarrollo, haciendo fácil lo difícil. Ha sido un privilegio poder contar con su guía y ayuda en este trabajo monográfico.

Gracias a los profesores de la Universidad Nacional de San Martín que tuvieron la paciencia y sabiduría para enseñarme y salir un buen profesional.

Índice general

	Pag.
Dedicatoria	vi
Agradecimiento	vii
Índice general	viii
Resumen	xii
Abstract	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	2
II. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Tecnología de membranas	3
2.1.1. Concepto y definiciones	3
2.1.2. Definición de membrana	3
2.1.3. La ultrafiltración	4
2.1.4. La microfiltración	5
III. TECNOLOGÍAS DE MEMBRANAS	8
3.1. Microfiltración tangencial	8
3.2 Tecnología de membranas en sistemas sólido-líquido	10
3.2.1 Membranas y materiales	10
3.3. Caracterización de las Membranas	10
3.3.1. Microfiltración	12
3.3.1.1. Microscopía electrónica (EM)	13
3.3.1.2. Método del punto de burbuja	13
3.3.1.3. Método de intrusión de mercurio	15
3.3.1.4. Método de permeabilidad	17

3.3.2. Ultrafiltración.....	17
3.3.2.1. Adsorción-desorción de gas	19
3.3.2.2. Termoporometría	20
3.3.2.3. Permoporometría.....	21
3.3.2.4. Materiales utilizados y sus propiedades en la fabricación de membranas	23
3.3. Aplicaciones en la industria de alimentos.....	30
3.4. Aplicaciones de la tecnología de ultrafiltración en la elaboración industrial del queso.....	32
3.5. Inmovilización de enzimas. Fundamentos, métodos y aplicaciones.....	34
IV. DISCUSIÓN DE LA INFORMACION	44
4.1. Discusión del perfil propuesto.....	44
4.2. Ventajas y desventajas de la tecnología de Micro y Ultrafiltración frente a otros Métodos Tradicionales Empleados en Procesos Alimentarios.....	44
4.1.1. Microfiltración	44
4.1.2. Ultrafiltración	45
V. PROPUESTA DE APLICACIÓN Y/O MEJORA.....	47
VI. CONCLUSIONES	49
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
ANEXOS.....	58

Índice de tablas

Pag.

Tabla 1. Procesos de membrana.....	9
Tabla 2. Relación entre la presión y el radio de los poros (ecuación 1) utilizando agua como medio humectante	15

Índice de figuras

	Pag.
Figura 1. Esquema de un proceso de separación por membrana	4
Figura 2. Principio básico de los procesos de membranas.....	6
Figura 3. Principio básico del proceso industrial tangencial de membranas	7
Figura 4. Dibujo esquemático de un aparato de prueba de punto de burbuja	14
Figura 5. El principio del método del punto de burbuja	15
Figura 6. Volumen acumulativo (V_{cum}) en función de la presión aplicada (bar).....	16
Figura 7. Presión de humectación para el agua en función del diámetro de poro del polipropileno poroso.....	17
Figura 8. Isoterma de adsorción-desorción de nitrógeno para material poroso que contiene tipo cilíndrico de poros	20
Figura 9. Dibujo esquemático de la extensión de la sub-base en relación con el diámetro del poro. L = líquido (agua); S = sólido (hielo); r = radio de poro ($r_1 > r_2 > r_3$).....	20
Figura 10. Configuración experimental empleada en perporometría.....	21
Figura 11. Distribución del tamaño de poro de una membrana de PPO medida por adsorción / desorción de gas, perporometría y métodos de termoporometría	22
Figura 12. Esquema Ultrafiltración Leche/Suero.....	33
Figura 13. Reactores enzimáticos que emplean enzimas inmovilizadas.....	35
Figura 14. Diseño detallado del equipo de ultrafiltración.....	37
Figura 15. Representación esquemática de los diferentes compuestos o especies presentes en los zumos de frutas, clasificados según su naturaleza y tamaño.....	40

Resumen

El empleo de tecnología de membranas en la industria no sólo ha adquirido relieve durante la última década, sino que se han diversificado sus aplicaciones. En el caso de la producción de jugos de fruta, su aplicación más común ha sido en el proceso de clarificación, reemplazando o al menos reduciendo, el uso de agentes clarificantes (bentonita, gelatina, sílica sol, etc.). Sin embargo, este no es el único uso potencial de este tipo de sistemas, puesto que existen alternativas para mejorar la eficiencia de los mismos. Los procesos de membranas de filtración más conocidos en la industria son: Microfiltración y ultrafiltración. La presente monografía resalta el uso de membranas en los diferentes campos industriales (Industria alimentaria, de bebidas, del almidón, edulcorantes, azucarera, farmacéutica /biotecnología, química y ambiental, entre otros); poniendo en claro que está más abocado a lo que respecta la Micro y ultrafiltración en dichos campos. En las últimas décadas se ha apreciado un cierto cambio en la introducción de nuevas tecnologías capaces de desarrollar alimentos que en su base son similares a los tradicionales, pero que en la práctica son sensiblemente diferentes. Incluso se crean nuevos alimentos con ventajas para la salud de los consumidores, (tecnología emergente en el sector alimentario). Algunas de las nuevas tecnologías están relacionadas con los nuevos materiales: el envasado, los gases, la aplicación de temperaturas o la aplicación de presiones. Los alimentos, fruto de estas tecnologías requieren, en algún momento de su elaboración y procesado, una separación específica de partículas. Para ello, se está aplicando la tecnología de la filtración por membrana, que actualmente pone a disposición de los consumidores productos a un precio adecuado y que, en un futuro inmediato, podrá solucionar algunos de los problemas planteados en las diferentes industrias.

Palabras clave: Tecnologías de membranas, micro, ultrafiltración, procesos alimentarios.

Abstract

The use of membrane technology in the industry has not only acquired prominence during the last decade, but its applications have been diversified. In the case of the production of fruit juices, its most common application has been in the clarification process, replacing or at least reducing, the use of clarifying agents (bentonite, gelatin, silica sol, etc.). However, this is not the only potential use of this type of systems, since there are alternatives to improve their efficiency. The filtration membrane processes best known in the industry are: Microfiltration and ultrafiltration. This monograph highlights the use of membranes in different industrial fields (food industry, beverage, starch, sweeteners, sugar, pharmaceutical / biotechnology, chemical and environmental, among others); making it clear that it is more focused on Micro and ultrafiltration in these fields. In recent decades there has been a certain change in the introduction of new technologies capable of developing foods that are similar to traditional ones, but in practice are significantly different. Even new foods with advantages for the health of consumers are created (emerging technology in the food sector). Some of the new technologies are related to new materials: packaging, gases, the application of temperatures or the application of pressures. The food, the result of these technologies, requires, at some point of its elaboration and processing, a specific separation of particles. For this purpose, membrane filtration technology is being applied, which currently makes products available to consumers at an appropriate price and which, in the immediate future, will be able to solve some of the problems posed in the different industries.

Keywords: Membrane technologies, micro, ultrafiltration, food processes.



I. INTRODUCCIÓN

Las membranas se utilizan principalmente para la separación y los procesos de membrana son generalmente procesos de separación. En los últimos 30 años, estos procesos han sido ampliamente adoptados por diferentes industrias. Los usos comerciales a gran escala de las separaciones de membrana han desplazado los procesos de separación convencionales. Se esperan más en el futuro. Los procesos de separación de membrana a menudo son más eficientes en términos de capital y energía en comparación con los procesos de separación convencionales. Los dispositivos y sistemas de membrana son casi siempre compactos y modulares. Además, los procesos de membrana pueden algunas veces lograr resultados totalmente novedosos (**Montoya, 2013**).

A pesar de que ha pasado mucho tiempo desde que se inició la elaboración industrial de alimentos, la base de estos procesos es muy similar. En realidad, se han simulado o adaptado los sistemas de producción a la obtención de alimentos lo más parecidos posibles a los tradicionales.

La comercialización de preparación de la membrana y procesamiento de membranas se origina en el comienzo del siglo XX, cuando Zsigmondy en Alemania confeccionaron microfiltros. En aquel entonces, los filtros fueron usados sólo en las pruebas de esterilidad de escala de laboratorio en vez de dispositivos de filtración industrial. No obstante, la introducción del microfiltro demarcó la iniciación de una de las aplicaciones más grandes de la membrana moderna: La esterilización en frío de numerosos alimentos y flujos de proceso lecheros (**Michaelis, 1925**).

Las membranas para el uso en los procesos comerciales de gran escala no fueron desarrolladas hasta la invención de la membrana asimétrica a finales de 1950. Con este tipo de membrana, los altos flujos a través de la membrana que son esenciales para aplicaciones comerciales fueron establecidos. Algunas de las nuevas tecnologías están relacionadas con los nuevos materiales, el envasado, los gases, la aplicación de temperaturas o la aplicación de presiones.

Las membranas desempeñan un papel central en nuestra vida diaria, o como lo indicó un ingeniero, Richard Bowen, "Si estás cansado de las membranas, estás cansado de la

vida". Las membranas biológicas apenas se usan en aplicaciones industriales, pero las separaciones con membranas sintéticas se han vuelto cada vez más importantes **(Michaelis, 1925)**.

Hoy en día, los procesos de membrana se utilizan en una amplia gama de aplicaciones y su número aumentará. Por lo tanto, existe la necesidad de ingenieros, químicos, científicos y técnicos bien educados y calificados que hayan aprendido los principios básicos de la tecnología de membrana. Sin embargo, a pesar de la creciente importancia de los procesos de membrana, solo hay unas pocas universidades que incluyen la tecnología de membrana en sus currículos regulares. Una de las razones de esto puede ser la falta de un solo libro de texto completo.

La tecnología de membrana abarca un amplio campo, sin embargo, he tratado de describir los principios básicos de las diversas disciplinas. Aunque esta monografía fue escrita pensando en el estudiante, también puede servir como una primera introducción para ingenieros, químicos y técnicos en todo tipo de industrias que deseen aprender los conceptos básicos de la tecnología de membrana.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general:

- Obtener y analizar la información sobre tecnología de membranas, con énfasis en micro y ultrafiltración.

1.1.2. Objetivo específico:

- Recopilar información sobre tipos de materiales utilizados en la fabricación de membranas.
- Hacer un inventario de aplicaciones de la micro y ultrafiltración en el campo agroalimentario.

II. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Tecnología de membranas

2.1.1. Concepto y definiciones

Al proceso mediante el cual se separan dos o más componentes de una corriente utilizando una membrana (o filtro) se denomina filtración (**Sutherland and Chase, 2008**). En este proceso los fluidos se hacen circular sobre superficies semipermeables que los componentes de dichos fluidos atraviesan de manera selectiva sin experimentar alteraciones químicas ni físicas. La membrana actúa como una barrera semipermeable y la separación ocurre porque la membrana controla la cantidad de movimiento de varias moléculas entre las fases. Las dos fases fluidas suelen ser miscibles y la barrera de la membrana impide el flujo hidrodinámico normal (**Sharma et al, 2000; and Strathmann, 2009**).

En los últimos años se ha generado un creciente interés en la funcionalidad que muchos componentes de la leche tienen, una vez separados de su matriz original, así como por las características que este fluido presenta una vez eliminados o disminuidos estos componentes. La presión requerida para forzar el paso a través de alguna membrana suele ser proporcional al tamaño de los poros, siendo necesario incrementar sustancialmente su magnitud a medida que el tamaño de estos decrece (**Brans et al. 2004**).

2.1.2. Definición de membrana

La filtración por membrana es uno de los pasos clave del procesamiento en numerosas aplicaciones, y proporciona una herramienta rentable y robusta para la purificación de diversos líquidos y gases. La demanda de diferentes membranas crece año a año.

Por el desarrollo de nuevas aplicaciones y nuevas tecnologías de membrana. El rango de membranas varía en su material básico, la estructura y función, así como su campo de aplicación, que van desde la desalinización del agua de mar hasta la hemodiálisis o la filtración estéril de productos farmacéuticos. Dentro de este campo, la microfiltración desempeña un papel importante en diversas

aplicaciones en las industrias de productos biofarmacéuticos, alimentos y bebidas y semiconductores.

Las membranas pueden ser naturales (biológicas) o sintéticas. Las membranas naturales, aquellas derivadas de fuentes biológicas, son un tema amplio y están fuera del alcance de esta discusión. Las membranas sintéticas pueden ser poliméricas, metálicas o cerámicas (**Reif, 2006**).

El principal obstáculo para las membranas inorgánicas, por ejemplo, a partir de la cerámica, hasta ahora en microfiltración es su costo relativamente alto, que puede ser mayor por el factor de hasta 5–20, dependiendo de la aplicación. Sin embargo, el mercado de las membranas cerámicas podría crecer con la creciente demanda de membranas de microfiltración con una resistencia química y térmica superior (**Reif, 2006**).

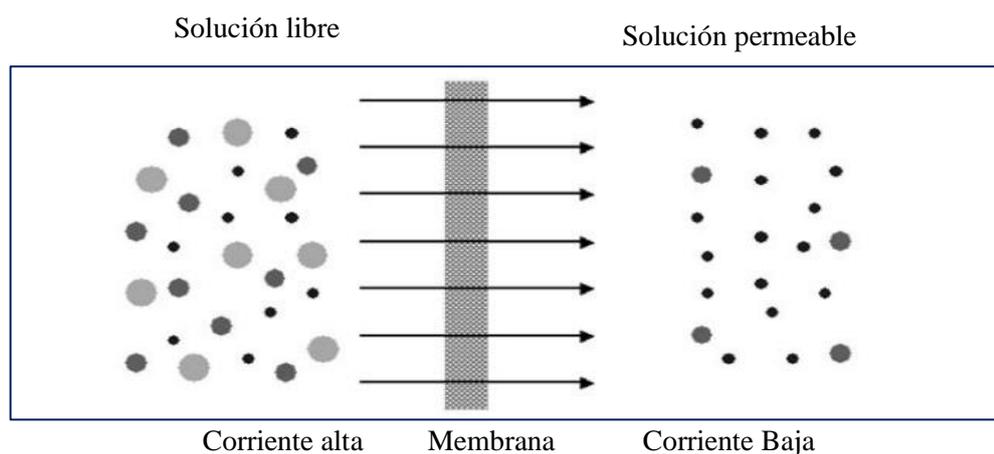


Figura 1. Esquema de un proceso de separación por membrana (Reif 2006).

2.1.3. La Ultrafiltración

Es un proceso que se caracteriza por tener un punto de corte de alrededor de 450 a 300.000 daltons para diámetros de poro de 15 a 1.000 Å, razón por la cual su principal función en la industria láctea es incrementar los sólidos de la leche.

En la ultrafiltración, el tamaño de los poros es mayor, permitiendo que algunos componentes además del agua y los compuestos iónicos de la leche pasen la membrana, en un proceso de separación y fraccionamiento que generalmente

utiliza temperaturas de 50-60 °C y se basa en membranas de polisulfonas. Se encuentran menos reportes que citan el uso de membranas de acetato de celulosa, que suelen estar relacionadas con ciertos tipos recurrentes de colmataje debido a proteínas lácteas (**Riccomini et al., 1989**).

Barbano et al. (1987), ha reportado que para el tipo de membranas de polisulfonas utilizadas en ultrafiltración, la adsorción específica de los componentes de la leche en la membrana es independiente de la polarización de la concentración en términos de colmataje.

Para la ultrafiltración convencional se reportan presiones transmembranarias usuales de 1.500 kPa con flujos que pueden llegar a 82 kg/h*m (**Akoum et al., 2003**).

2.1.4. La microfiltración

La microfiltración comprende una serie de técnicas muy similares a la ultrafiltración, pero aplicadas a menores presiones y fundamentadas en un tamaño mucho mayor de poro capaz de dejar permear partículas en un rango de 0,2 µm a 2 µm. Este tamaño de poro permite usualmente retener la mayoría de las esporas, bacterias, hongos y levaduras, por lo cual la microfiltración puede ser considerada como una técnica de pasteurización que no requiere de tratamientos térmicos.

En este tipo de procesos en leche, las membranas de tipo cerámico han demostrado ser las que ofrecen mejores relaciones de rendimiento y durabilidad para procesos generalmente conducidos a temperaturas que van de 20 °C a 50 °C (**Ardisson - korat and Rizvi, 2004; Drgalic y Tratnik, 2004**).

Flujos bajos de entre cuatro y 15 kg/h*m y presiones transmembranarias uniformes y generalmente menores a 10 psi son características de estos procesos en lácteos (**Avalli et al., 2002; Baruah y Belfort, 2004**).

La empresa Alfa-Laval demanda como criterio de calidad en los equipos de microfiltrado industriales por ellos producidos, el mantener un proceso en operación por lo menos seis horas sin que el colmataje obligue a ejecutar un ciclo de limpieza mientras se obtiene un flujo medio de permeado de 500 litros por

minuto. En microfiltración el pH de la leche parece tener una gran importancia pues a medida que se incrementa este parámetro se da un aumento en la viscosidad relativa del fluido, probablemente atribuible a los cambios en las propiedades de solvatación y en el volumen mismo de las micelas de caseína (Solanki y Rizvi, 2001).

Por ello algunos autores como Brandsma y Rizvi (1999) recomiendan un ajuste constante del pH durante el proceso, no solo para lidiar con el problema de la viscosidad, sino para obtener retenidos de buena concentración y reducidos en calcio.

El tamaño de los poros, típicamente más grande en los procesos de microfiltrado, los hacen particularmente susceptibles a sufrir un rápido colmataje especialmente si se trata de buscar altos flujos de permeado (Papadatos *et al.*, 2003); así como también son susceptibles a experimentar bajo estas circunstancias el problema de la “polarización de la concentración” (Krstic *et al.*, 2003). Las interacciones membrana-proteína y proteína-proteína juegan un fuerte rol en el colmataje inicial conduciendo posteriormente a la formación de un gel superficial (Bryony *et al.*, 2003).

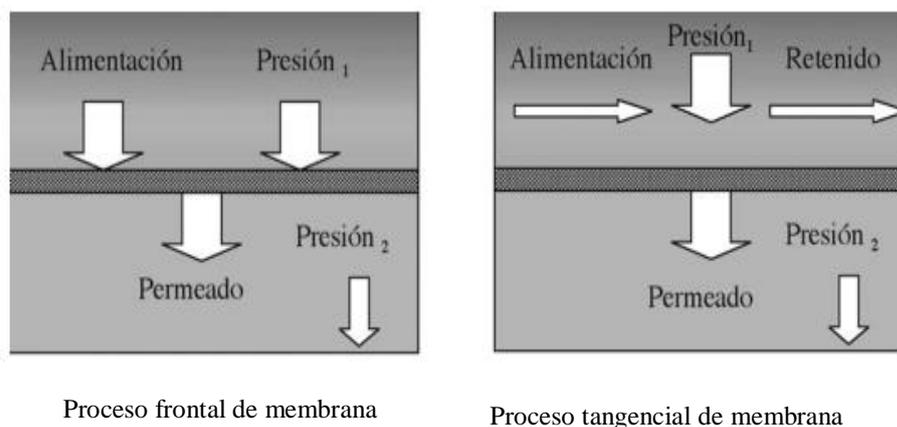
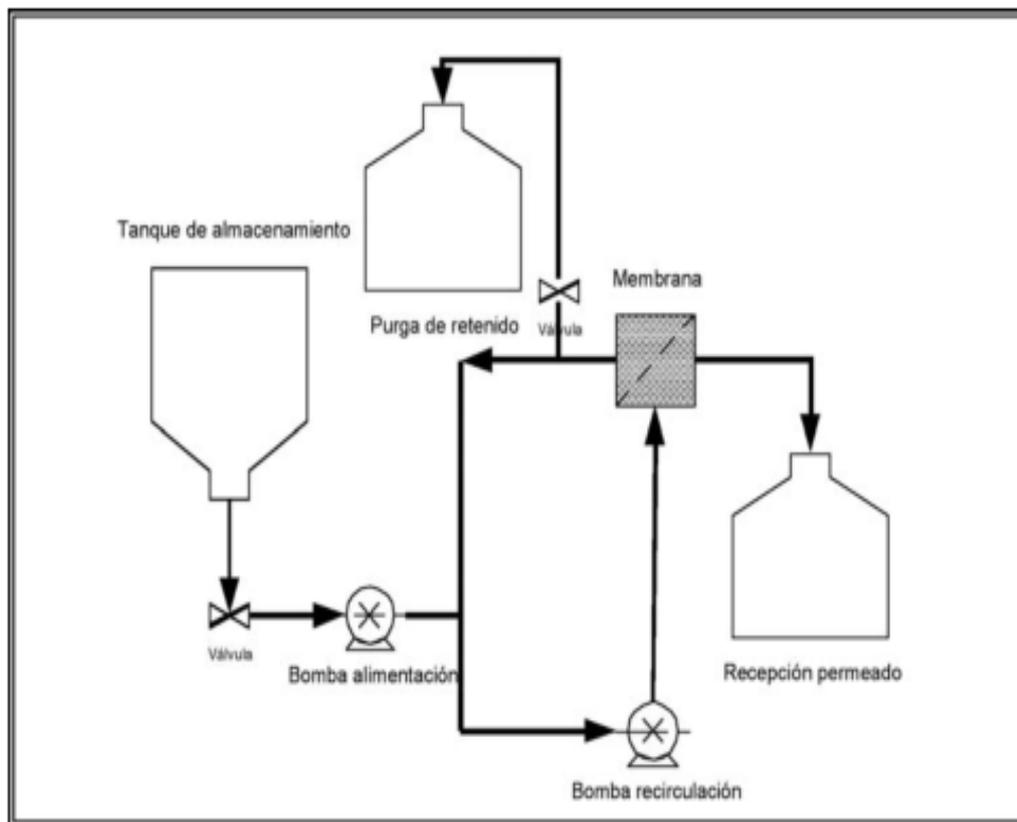


Figura 2. Principio básico de los procesos de membranas. Fuente Vaillant *et al.* 2004.

En el caso de la industria lechera, las técnicas de filtración generalmente se circunscriben al ámbito de los procesos tangenciales de membranas donde el permeado se recolecta y el retenido por lo general sufre de varios ciclos de recirculación en función del producto final deseado (Bryony *et al.*, 2003). En

términos generales un equipo de membranas de uso industrial podría esquematizarse de acuerdo con la Figura 3.



F

Figura 3. Principio básico del proceso industrial tangencial de membranas. (Fuente: Bryony *et al.* 2003).

III. TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS

3.1. Microfiltración tangencial

Los procesos que usan membranas se originan inicialmente ante la necesidad de producir tecnologías más económicas y eficientes que las formas tradicionales de separación. Ejemplo de este desarrollo, lo representa la tecnología de osmosis inversa, a partir de la década del 60. Posteriormente, en los años 70, se aplicó en otros sectores, entre ellos la industria alimentaria y biotecnológica, gracias a los nuevos materiales para membranas y equipamientos, así como la automatización de procesos **(Saavedra & Romero, 1999)**

La microfiltración, al igual que todo proceso de separación que usa membranas, permite concentrar un líquido por retención de los componentes de mayor tamaño (retenido) respecto al diámetro del poro membranario.

El líquido que atraviesa la membrana, denominado permeado, contiene los componentes o partículas de menor diámetro. Los diámetros de poro oscilan entre 0,1 y 10 micras, según el tipo de componente que se desee retener. El resto de métodos de filtración, como la ultrafiltración, nanofiltración u ósmosis inversa, usan membranas con diámetros de poro menor **(Binetti, Bailo, & Reinheimer, 2004)**

La separación de partículas o de objetos macroscópicos se obtiene por filtración frontal. Las técnicas de filtración tangencial, que utilizan membranas artificiales, empiezan con la separación de partículas microscópicas o de especies biológicas tales como las bacterias, en cuyo caso se trata de microfiltración.

Para especies o fragmentos de materias más pequeñas como los coloides, las macromoléculas o los virus, se trata de la ultrafiltración. Si se acompaña adecuadamente de un envasado aséptico, puede lograrse productos “esterilizados en frío”. Esto permite hablar de una estabilidad microbiológica conseguida por mecanismos no térmicos **(Cozzano, 2009)**.

La micro filtración tangencial es un proceso de separación sólido-líquido de componentes de un fluido presurizado por medio de una membrana semipermeable (Vaillant, Pérez, & Viquez, 2004).

Por tanto, la filtración tangencial es una técnica que se diferencia de la convencional, porque el flujo del material a filtrar, circula tangencialmente a la superficie membranaria. La tabla 1 indica los diferentes tipos de proceso de separación por medio de membranas, donde el principio impulsor o fuerza motriz de separación es la presión diferencial, el diámetro de poro que define el tipo de componentes a separar que, además, se ejemplifican.

Tabla 1

Tipo de proceso	Principio impulsor	Diámetro de poro	Ejemplos
Microfiltración	Presión diferencial	10 – 0,1 μm	Células microbianas, grandes coloides, partículas pequeñas, etc.
Ultrafiltración	Presión diferencial	<0.1 μm – 5 nm	Proteínas, emulsiones, coloides macromoleculares
Nanofiltración	Presión diferencial	Aprox. 1 nm	Compuestos orgánicos y sales disueltas
Osmosis inversa	Presión diferencial	< 1 nm	Pequeños compuestos orgánicos, sales disueltas
Electrodialisis	Potencial eléctrico diferencial	< 5nm	Sales disueltas
Diálisis	Concentración diferencial	< 5nm	Tratamientos clínicos de insuficiencia renal.

Procesos de membrana (Pandolfi, 2008).

A consecuencia de aplicar la presión (fuerza impulsora) los solutos próximos a la superficie se concentran en este sector, originando una resistencia extra al flujo y, por ende, disminuyendo el caudal (Ibáñez, 2007). Los solutos retenidos por la membrana de microfiltración, que se encuentran en diámetros entre 0,1 y 10 micras, están representados por coloides, células microbianas y partículas pequeñas (Pandolfi, 2008). En la figura 1 se presenta una comparación esquemática entre la filtración convencional, denominada perpendicular (en relación a la orientación de la membrana) y la tangencial o paralela, porque la alimentación fluye paralela a la membrana.

3.2. Tecnología de membranas en sistemas sólido-líquido

3.2.1 Membranas y materiales.

Díaz, (2008). Los materiales que se utilizan en muchos procesos de membranas pueden ser muy diferentes, ya que tanto el material como las configuraciones ofrecen muchas posibilidades. Por eso, se pueden establecer varias clasificaciones, según el elemento de referencia. de ellas puede ser la naturaleza de la membrana: biológica o sintética. Estos dos tipos de membranas son muy diferentes en estructura y funcionalidad.

Otra clasificación puede ser según la porosidad de la membrana:

- Membrana porosa. Formada por poros que pueden ir desde 5 nm hasta alguna micra. Éste es el fundamento de la microfiltración y la ultrafiltración.
- Membrana microporosa. Formada por poros de 1 a 5 nm de diámetro. En este caso, los efectos de carga de partículas son más importantes en el proceso de separación que los efectos del tamaño de partícula.
- Membrana no porosa. Membrana con poros de tamaño inferior a 1 nm de diámetro.

Operaciones y equipos:

a) Variables que definen el comportamiento

En todo el proceso de membrana, existen tres corrientes:

a.1) Alimento:

Disolución que se quiere tratar.

a.2) Permeado:

Corriente que es capaz de pasar a través de la membrana. Está constituida por el solvente y algunos solutos. Es rico en sustancias con tendencia a atravesar la membrana.

a.3) Retenido o Concentrado:

Corriente que no ha pasado a través de la membrana.

3.3. Caracterización de las Membranas

Los procesos de membrana pueden cubrir una amplia gama de problemas de separación con una membrana específica (estructura de membrana) que se requiere

para cada problema. Por lo tanto, las membranas pueden diferir significativamente en su estructura y, por consiguiente, en su funcionalidad. Se han hecho muchos intentos para relacionar la estructura de la membrana con los fenómenos de transporte, en un esfuerzo por proporcionar una mejor comprensión de los problemas de separación y, posiblemente, predecir el tipo de estructura necesaria para una separación determinada **(Mulder, 2012)**.

Las membranas deben caracterizarse para determinar cuál puede usarse para una cierta separación o clase de separaciones. Un pequeño cambio en uno de los parámetros de formación de la membrana puede cambiar la estructura (capa superior) y, en consecuencia, tener un efecto drástico en el rendimiento de la membrana. La reproducibilidad también es un problema frecuente. La caracterización de la membrana es necesaria para relacionar las propiedades estructurales de la membrana, como el tamaño de los poros, la distribución del tamaño de los poros, el volumen libre y la cristalinidad con las propiedades de separación de la membrana.

Aunque los fabricantes de membranas proporcionan información muy clara y directa, por ejemplo, sobre el corte de la membrana, el tamaño de los poros y la distribución del tamaño de los poros no se intenta colocar esta información en un marco más comparativo. Surge la pregunta de qué información se puede obtener de las mediciones de caracterización que nos ayudarán a predecir el rendimiento de la membrana para una aplicación determinada **(Mulder, 2012)**.

Un dato útil es una distinción entre las propiedades intrínsecas de la membrana y las aplicaciones reales de la membrana. Por ejemplo, el flujo de membrana para la ultrafiltración en aplicaciones de alimentos y en general suele ser inferior al 10% del flujo de agua pura, y la aplicación de microfiltración proporciona una diferencia aún mayor entre el flujo de agua pura y los flujos de proceso. La gran discrepancia es causada principalmente por la polarización de la concentración y el ensuciamiento. Estos fenómenos se describirán en el capítulo VII, pero son factores implícitos que deben formar parte de la caracterización de la membrana **(Mulder, 2012)**.

3.3.1. Microfiltración

Las membranas de microfiltración poseen poros en el rango de 0,1 a 10 μm y se caracterizan fácilmente con diversas técnicas. Los siguientes métodos se tratarán aquí:

- Microscopía electrónica de barrido
- Método de punto de burbuja
- Intrusión de mercurio
- Medidas de permeación de la porometría.

Los primeros tres métodos enumerados implican la medición de parámetros morfológicos o estructurales, mientras que el último método es una técnica típica relacionada con la permeación (**Guizard, 1999**).

La micro filtración tangencial

Es un proceso de separación sólido-líquido de componentes de un fluido presurizado por medio de una membrana semipermeable (**Vaillant, Pérez, & Viquez, 2004**). Por tanto, la filtración tangencial es una técnica que se diferencia de la convencional, porque el flujo del material a filtrar, circula tangencialmente a la superficie membranaria. La tabla 1 indica los diferentes tipos de proceso de separación por medio de membranas, donde el principio impulsor o fuerza motriz de separación es la presión diferencial, el diámetro de poro que define el tipo de componentes a separar que, además, se ejemplifican.

En relación a las membranas porosas, estas pueden clasificarse, además, acorde con los materiales con los que han sido elaboradas: cerámicas, metálicas, vítreas, zeolíticas y de carbono. Últimamente, las membranas cerámicas, compiten por la gran cantidad de aplicaciones debido a su alta estabilidad, tanto térmica como química. Además, la facilidad de limpieza, permite un uso prolongado en el tiempo. Las membranas cerámicas son las que han provocado el uso en el mercado de las membranas inorgánicas en los últimos años. Esto se debe, especialmente, a sus aplicaciones en entornos químicamente diversos, altas temperaturas, presiones y costos de fabricación, aunque son más altos que las poliméricas, resultan económicos para su uso durante periodos comparativamente prolongados de tiempo. El desarrollo de membranas cerámicas va orientado a satisfacer, los procesos de filtración de muchas industrias, principalmente la industria alimentaria, tratamiento de aguas y líquidos provenientes de fermentaciones y

tratamientos de efluentes gaseosos, aunque es necesario mucho más esfuerzo para un total aprovechamiento de sus posibilidades (**Benito, Conesa, & Rodríguez, 2004**).

3.3.1.1. Microscopía electrónica (EM)

La microscopía electrónica (EM) es una de las técnicas que se pueden utilizar para la caracterización de membranas. Se pueden distinguir dos técnicas básicas: microscopía electrónica de barrido (SEM) y microscopía electrónica de transmisión (TEM) (**Sorrivas, 2014**).

De estas dos técnicas, la microscopía electrónica de barrido proporciona un método muy conveniente y sencillo para caracterizar e investigar la estructura porosa de las membranas de microfiltración. (Además, también se puede estudiar la subestructura de otras membranas asimétricas). El límite de resolución de un microscopio electrónico simple se encuentra en el rango de 0.01 μm (10 nm), mientras que los diámetros de poros de las membranas de microfiltración están en el rango de 0.1 a 10 μm . Se pueden alcanzar resoluciones de aproximadamente 5 nm (0,005 μm) con microscopios más sofisticados (**Sorrivas, 2014**).

3.3.1.2 Método del punto de burbuja

El método de punto de burbuja proporciona un medio simple de caracterizar el tamaño máximo de poro en una membrana dada. El método fue utilizado por Bechold incluso en los primeros años de este siglo. En la figura 4, se muestra un dibujo esquemático del aparato de prueba. El método mide esencialmente la presión necesaria para soplar aire a través de una membrana llena de líquido. La parte superior del filtro se coloca en contacto con un líquido (por ejemplo, agua) que llena todos los poros cuando se humedece la membrana. La parte inferior del filtro está en contacto con el aire y, a medida que la presión del aire aumenta gradualmente, las burbujas de aire penetran a través de la membrana a una cierta presión (**Sorrivas, 2014**).

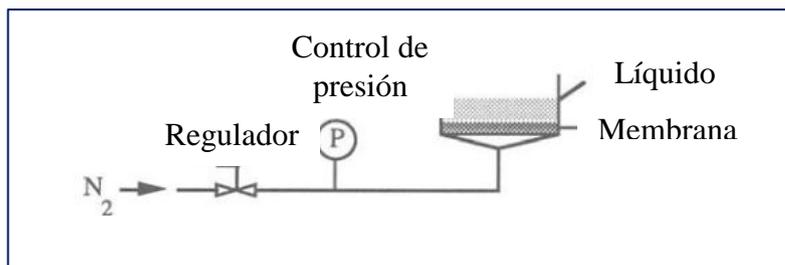


Figura 4. Dibujo esquemático de un aparato de prueba de punto de burbuja (Mulder 2012).

La relación entre la presión y el radio de poro viene dada por la ecuación de Laplace (ecuación 1).

$$r_p = 1 + \frac{2\gamma}{\Delta P} \cdot \cos\theta \quad \text{Ecuación...1}$$

Donde r_p es el radio de un poro con forma capilar y γ la tensión superficial en la interfaz líquida / aire. El principio de la medición del punto de burbuja se representa esquemáticamente en la figura 5, desde donde se puede ver que el líquido en la parte superior de la membrana moja esta última.

Una burbuja de aire penetrará a través del poro cuando su radio sea igual al del poro. Esto significa que el ángulo de contacto es 0° (y $\cos\theta = 1$). La penetración se producirá primero a través de los poros más grandes y, como se conoce la presión, el radio del poro se puede calcular a partir de la ecuación 1.

Este método solo se puede usar para medir los poros activos más grandes en una membrana dada y, por lo tanto, se ha convertido en la técnica estándar utilizada por los proveedores para caracterizar sus membranas de microfiltración (punto muerto) (Sorrivas, 2014).

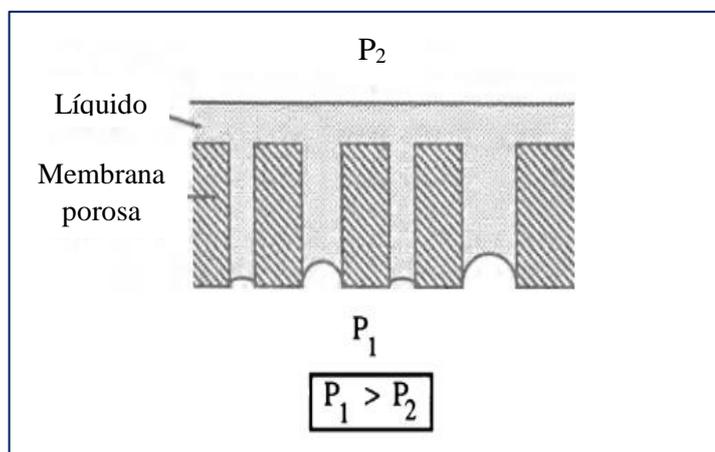


Figura 5. El principio del método del punto de burbuja (Mulder 2012).

Dado que la tensión superficial en la interfaz agua / aire es relativamente alta (72,3 10-N / m), si hay poros pequeños presentes, es necesario aplicar altas presiones. Sin embargo, el agua puede ser reemplazada por otro líquido, p. por un alcohol (la tensión superficial en la interfaz t-butanol / aire es $20.7 \cdot 10^{-3} \text{N/ m}$). Algunos datos calculados a partir de ecuación 1, usando agua como líquido se dan en la tabla 2. Esta tabla también da una indicación de la presión requerida para un radio de poro dado (Sorrivas, 2014).

Tabla 2

Relación entre la presión y el radio de los poros (ecuación 1) utilizando agua como medio humectante.

Radio de poro (μm)	Presión (bar)
10	0.14
1.0	1.4
0.1	14.5
0.01	145

3.3.1.3. Método de intrusión de mercurio

La técnica de intrusión de mercurio es una variación del método de punto de burbuja. En esta técnica, el mercurio se fuerza en una membrana seca y se determina el volumen de mercurio a cada presión. Nuevamente, la relación de presión y tamaño de poro viene dada por la ecuación de Laplace. Debido a que el mercurio no humedece la membrana (ya que su ángulo de contacto es mayor que 90° y, en consecuencia, $\cos \theta$ tiene un valor negativo), (Mosquera, 1999). La ecuación 1 se modifica a:

$$r_p = -\frac{2\gamma \cos\theta}{\Delta P} \quad \text{Ecuación...2}$$

El ángulo de contacto del mercurio con los materiales poliméricos suele ser de 141.3° y la tensión superficial en la interfaz mercurio / aire es de 0.48 N / m . Por lo tanto, eq. 3 se reduce a:

$$r_p = \frac{4792}{P} \quad \text{Ecuación...3}$$

Donde r_p se expresa en nm y P en bar.

Dado que el volumen de mercurio se puede determinar con mucha precisión, las distribuciones de tamaño de poro se pueden determinar con bastante precisión. Sin embargo, ecuación 2 asume que los poros capilares están presentes. Este no es generalmente el caso y por esta razón debe introducirse una constante morfológica. Además, deben evitarse presiones muy altas, ya que pueden dañar la estructura porosa y llevar a una distribución errónea del tamaño de los poros. La Figura 6 muestra un dibujo esquemático del resultado de un experimento de intrusión de mercurio (**Mosquera, M., 1999**).

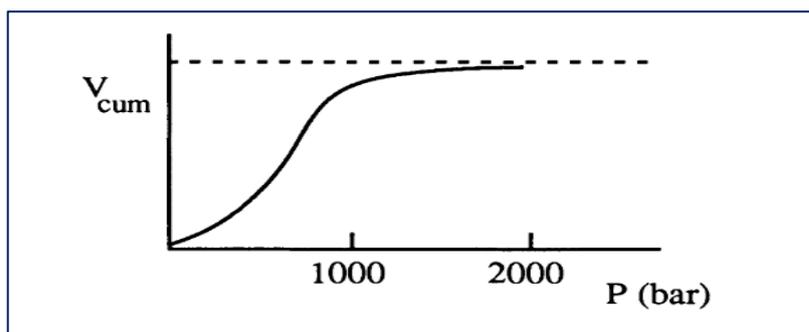


Figura 6. Volumen acumulado (V_{cum}) en función de la presión aplicada (bar) (Mulder 2012).

3.3.1.4 Método de permeabilidad

Si se asume que los poros capilares están presentes, el tamaño de los poros se puede obtener midiendo el flujo a través de una membrana a una presión constante utilizando la ecuación de Hagen-Poiseuille (**Medina, 2017**).

$$r_p = - \frac{\varepsilon r^2 \Delta P}{8\eta \tau \Delta x} \quad \text{Ecuación...4}$$

Aquí J es el flujo (agua) a través de la membrana a una fuerza impulsora de $\Delta P/\Delta x$, con ΔP es la diferencia de presión y Δx el grosor de la membrana. El factor de proporcionalidad contiene el radio de poro r, la viscosidad del líquido η ,

la porosidad de la membrana ($= n\pi r^2$) y el factor de tortuosidad a La distribución del tamaño de poro se puede obtener variando la presión, es decir, mediante una combinación del método de punto de burbuja y la permeabilidad métodos No es esencial que el líquido humedezca la membrana (**Medina, 2017**).

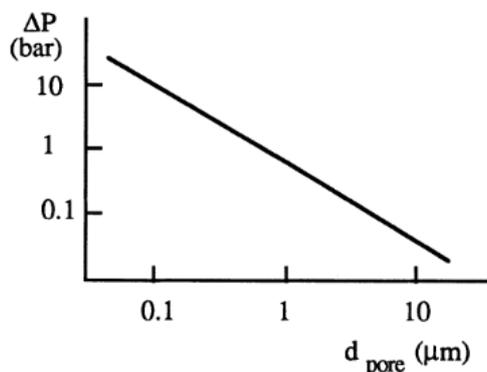


Figura 7. Presión de humectación para el agua en función del diámetro de poro del polipropileno poroso (Accurel) (Mulder 2012).

3.3.2. Ultrafiltración

La ultrafiltración (UF) es un proceso de separación por membrana a baja presión que se da por la diferencia en el tamaño de solutos. Las moléculas grandes se mueven horizontalmente en relación a la membrana, lo que produce un perfil de concentraciones en la solución llamada polarización de la concentración (**Wang et al., 2004**).

La efectividad de una membrana de UF es definida por el coeficiente de rechazo (R), que es una medida de la cantidad de material retenido por la membrana. $(\%)R = [1 - (C_p/C_f) * 100]$, donde C_p es la concentración de macromoléculas retenidas en el permeado y C_f , es la concentración de macromoléculas retenidas en la alimentación. (**Serna-Cock, et al., 2010**).

La dinámica del flujo a través de la membrana (J_{vw}) está dada, como cualquier proceso de transporte, por la fuerza aplicada y por la resistencia de la membrana $J_{vw} = \Delta P_t / \mu R_m$, donde ΔP es la diferencia de presión existente entre ambos lados de la membrana (Pa), μ , es la viscosidad del fluido (Pa*s o g*s*cm⁻¹) y R_m resistencia hidráulica de la membrana (**Li et al., 2006**).

La UF ha sido foco de muchos estudios en las últimas décadas debido al bajo consumo de energía que requiere el sistema en comparación con procesos térmicos de concentración, como la evaporación. Uno de los usos que se le ha dado a esta tecnología es la recuperación y concentración de proteínas presentes en diferentes componentes y la filtración fina de gelatina (**Simón, et al., 2002; Wang et al., 2006**).

Las membranas de ultrafiltración también pueden considerarse porosas. Sin embargo, esta estructura es típicamente más asimétrica en comparación con las membranas de microfiltración. Dichas membranas asimétricas consisten en una capa superior delgada soportada por una subcapa porosa, y la resistencia a la transferencia de masa está casi completamente determinada por la capa superior. Por esta razón, la caracterización de las membranas de ultrafiltración implica la caracterización de la capa superior; es decir, su espesor, distribución de tamaño de poro y porosidad superficial.

Los diámetros típicos de los poros en la capa superior de una membrana de ultrafiltración generalmente están en el rango de 20 a 1000 Å. Debido a los tamaños de poros pequeños, las técnicas de caracterización de microfiltración no se pueden usar para membranas de ultrafiltración. Por lo tanto, la resolución de un microscopio electrónico de barrido ordinario es generalmente demasiado baja para determinar con precisión los tamaños de poros en la capa superior (**Serna-Cock, et al., 2010**).

Además, los métodos de intrusión de mercurio y de punto de burbuja no se pueden usar porque los tamaños de los poros son demasiado pequeños, por lo que se necesitarían presiones muy altas, lo que destruiría la estructura polimérica. Sin embargo, todavía se pueden usar experimentos de permeación y este método puede extenderse mediante el uso de varios tipos de soluto. Los siguientes métodos de caracterización serán discutidos aquí:

- Adsorción-desorción de gas
- Termoporometría
- Permporometría
- Medidas de rechazo (fraccional).
- microscopio de transmisión por electrones

3.3.2.1. Adsorción-desorción de gas

La adsorción-desorción de gas es una técnica bien conocida para determinar el tamaño de poro y la distribución del tamaño de poro en materiales porosos. La isoterma de adsorción y desorción de un inerte.

La isoterma de adsorción y desorción de un gas inerte se determina en función de la presión relativa ($P_{relativa} = P / P_o$, es decir, la relación entre la presión aplicada y la presión de saturación). El nitrógeno se utiliza a menudo como gas de adsorción y los experimentos se llevan a cabo a temperatura de nitrógeno líquido en ebullición (a 1 bar). La isoterma de adsorción comienza a una presión relativa baja, a una cierta presión mínima, los poros más pequeños se llenarán con nitrógeno líquido (con un tamaño de radio mínimo de aproximadamente 2 nm). A medida que la presión aumenta aún más, los poros más grandes se llenarán y, cerca de la presión de saturación, se llenarán todos los poros. El volumen total de poros se determina por la cantidad de gas adsorbido cerca de la presión de saturación. La desorción ocurre cuando la presión disminuye, comenzando con la presión de saturación. La curva de desorción generalmente no es idéntica a la curva de adsorción se puede observar un efecto de histéresis (ver figura 8).

La razón de esto es que la condensación capilar se produce de manera diferente en la adsorción y desorción. Debido al menisco cóncavo del líquido en el poro, el nitrógeno se evapora a una presión relativa más baja porque la presión de vapor del líquido se reduce. La reducción de la presión de vapor para un capilar de radio r viene dada por la relación de Kelvin (**Gutiérrez, 2013**).

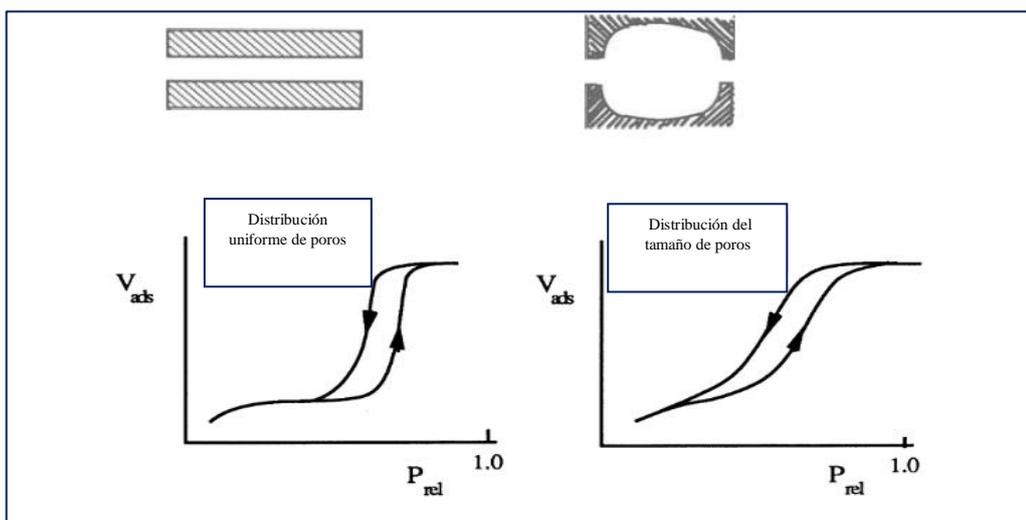


Figura 8. Isotherma de adsorción-desorción de nitrógeno para material poroso que contiene tipo cilíndrico de poros.

3.3.2.2. Termoporometría

La termoporometría se basa en la medición calorimétrica de una transición sólido-líquido (por ejemplo, de agua pura) en un material poroso. Esto puede ocurrir en los poros de la piel de una membrana métrica asimétrica, la temperatura a la cual el agua en los poros se congela (la extensión de la dercoaling) dependiendo del tamaño de los poros.

A medida que el tamaño de los poros disminuye, el punto de congelación del agua disminuye. Cada poro (tamaño de poro) tiene su propio punto de congelación específico. Para los poros cilíndricos que contienen agua, se puede derivar la siguiente ecuación para la congelación (**Eyraud, 1984**).

$$r_p = -\frac{64.67}{\Delta T} + 0.570 \quad \text{Ecuación...5}$$

donde r_p es el radio de poro (nm) y ΔT es la extensión del subenfriamiento (K).

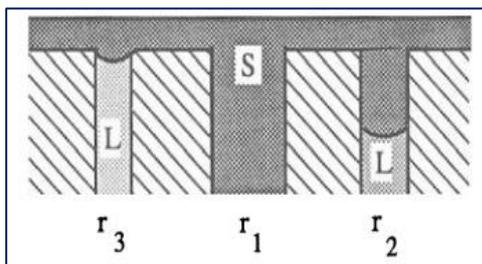


Figura 9. Dibujo esquemático de la extensión de la sub-base en relación con el diámetro del poro. L = líquido (agua); S = sólido (hielo); $r =$ radio de poro ($r_1 > r_2 > r_3$)

Se puede ver desde ecuación 5, que a medida que el radio de los poros se hace más pequeño, aumenta el grado de subenfriamiento. La Figura 8, proporciona un dibujo esquemático para la congelación de un líquido (agua) en un medio poroso en función del tamaño de poro. Se supone que la temperatura ha disminuido hasta tal punto que toda el agua en el poro r_1 se ha convertido en hielo. El agua comenzó a congelarse solo en el poro r_2 , mientras que toda el agua aún es líquida en el poro r_3 . Si la temperatura desciende aún más, el agua en el poro r_3 también se congelará. El efecto calorífico de la transición líquido-sólido (congelación o fusión) se mide por medio de un Calorímetro de Barrido Diferencial (DSC) (**Eyraud, 1984**).

3.3.2.3. Permporometría

La termoporometría tiene la desventaja de que todos los poros presentes en la membrana, tanto en la subcapa como en la capa superior, se caracterizan por incluir poros de "callejón sin salida" que no contribuyen al transporte. Sin embargo, otra técnica bastante nueva, la permporometría, solo caracteriza los poros activos. Esto significa que en las membranas asimétricas donde el transporte está determinado por la capa superior delgada, se puede obtener información sobre el tamaño de los poros y la distribución de los poros activos en esta capa superior. La permporometría se basa en el bloqueo de los poros mediante un gas condensable, vinculado a la medición simultánea del flujo de gas a través de la membrana. Dicho bloqueo se basa en el mismo principio de condensación capilar que la adsorción - histéresis de desorción. En la figura 9, se muestra un dibujo esquemático de la configuración experimental empleada (Mulder, 2012).

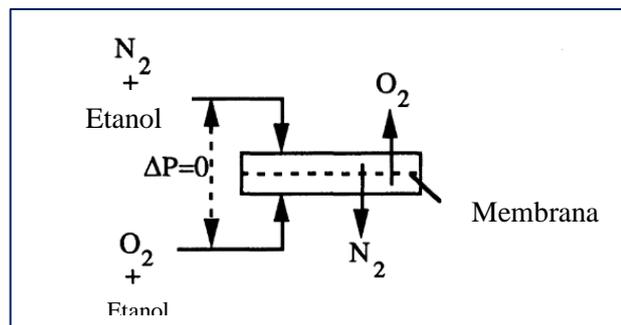


Figura 10. Configuración experimental empleada en permporometría

En el ejemplo ilustrado, el etanol se toma como el gas condensable. Es importante que el vapor no hinche la membrana, porque si esto ocurre, los tamaños de los poros cambiarán y se obtendrán resultados erróneos. Por lo tanto, la afinidad del vapor y el polímero debe ser muy baja (vapores inertes) y también la presión de vapor debe ajustarse fácilmente en todo el rango. La elección del vapor orgánico también influye en el método de otra manera, porque el grosor de la capa t (monocapa adsorbida) depende del tipo de vapor empleado. Para interpretar correctamente los resultados, el espesor de esta capa t debe determinarse (o calcularse). Durante el experimento no hay diferencia en la presión hidrostática a través de la membrana y el transporte de gas se realiza solo

por difusión, midiéndose el flujo de uno de los dos gases no condensables (por ejemplo, el oxígeno se puede medir con un electrodo selectivo de oxígeno).

Esta membrana particular tiene una distribución de tamaño de poro estrecho, que es algo inusual para las membranas poliméricas obtenidas por inversión de fase, pero que se caracteriza por los tres métodos. Además, el acuerdo entre los métodos es bastante razonable, con permoporimetría que da el valor más alto y la desorción de adsorción la más baja. Cabe señalar que la permoporimetría solo mide los poros activos, mientras que la adsorción-desorción y la termoporimetría miden los poros activos, sin salida e incluso pequeños en la subcapa (Mulder, 2012).

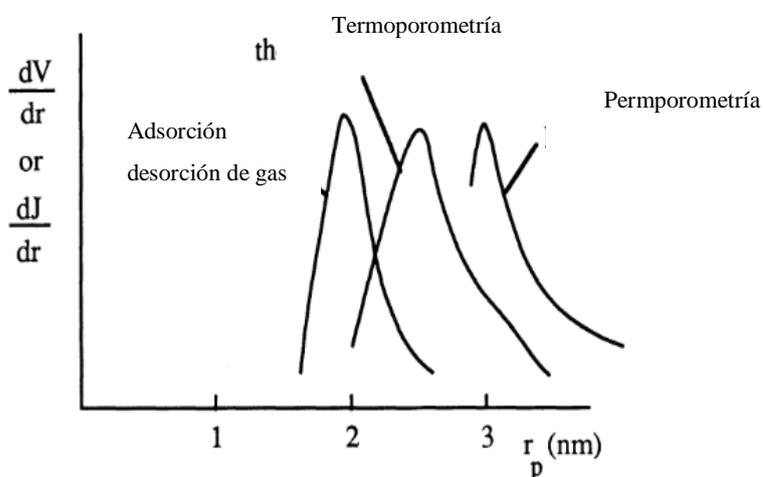


Figura 11. Distribución del tamaño de poro de una membrana de PPO medida por adsorción / desorción de gas, permoporimetría y métodos de termoporimetría Cuperus (1990).

3.3.2.4. Materiales utilizados y sus propiedades en la fabricación de membranas

Las membranas se pueden hacer de un gran número de materiales diferentes. Como una primera clasificación se puede hacer en dos grupos, es decir, membranas biológicas y sintéticas. Las membranas biológicas son esenciales para la vida en la tierra. Cada célula viva está rodeada por una membrana, pero estas membranas difieren completamente en su estructura, funcionalidad, etc. de las membranas orgánicas e inorgánicas sintéticas.

✓ **Polímeros**

Los polímeros son componentes de alto peso molecular formados por una serie de unidades básicas, es decir, monómeros. Cuanto mayor sea el número de monómeros, mayor será el peso molecular. El número de unidades estructurales unidas entre sí para formar la "molécula de cadena larga" se denomina grado de polimerización. Por lo tanto, el peso molecular de una molécula de cadena larga depende del grado de polimerización y del peso molecular de la unidad básica, el monómero. El polímero más simple es el polietileno, que se obtiene a partir del eteno, $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ó C_2H_4 . En la polimerización, el doble enlace del eteno se abre y un gran número de moléculas se acoplan para formar una cadena, que en el caso del polietileno es lineal con dos extremos (**Beltrán, y Marcilla, 2012**)

✓ **Estereoisomería**

Los polímeros de vinilo, obtenidos por polimerización de compuestos de vinilo $\text{H}_2\text{C}=\text{CHR}$ constituyen una clase muy importante de polímeros. El más simple es el polietileno, donde solo los átomos de hidrógeno están unidos a la cadena principal de carbono ($\text{R} = \text{H}$). Otros polímeros de vinilo se caracterizan por unidades repetitivas $-\text{CH}_2-\text{CHR}-$, donde el grupo lateral $-\text{R}$ es diferente para diferentes polímeros. (**Mulder, 2012**).

La posición del grupo lateral R tiene una influencia muy importante en las propiedades del polímero. Dado que la cristalinidad depende de la regularidad de la estructura, los polímeros isotácticos pueden ser muy cristalinos, mientras que los polímeros atácticos no son cristalinos. Por lo tanto, el poliestireno y el polipropileno atácticos son completamente amorfos, por ejemplo, mientras que el poliestireno y el polipropileno isotácticos son parcialmente cristalinos. La cristalinidad no solo afecta a las propiedades mecánicas del polímero sino también a su capacidad de penetración (**Mulder, 2012**).

Los polímeros que contienen un doble enlace en la cadena principal exhiben isomería cis-trans. La polimerización del 1,3-isopreno, por ejemplo, da dos productos posibles, es decir, cis 1, 4-poliisopreno o trans-1, 4-poliisopreno (ver figura II - 5), ambos con diferentes propiedades. El isómero cis es caucho natural y se puede usar como material de membrana, mientras que el isómero trans es un

material de cuero rígido que presenta propiedades no flexibles. Otros polímeros que contienen un doble enlace, como el cloropreno (neopreno) o el caucho de butadieno, también exhiben isomería cis-trans (**Mulder, 2012**).

Flexibilidad de la cadena

Una de las principales características estructurales, es decir, la flexibilidad de la cadena, está determinada por dos factores:

- i) El carácter de la cadena principal
- ii) la presencia y naturaleza de las cadenas laterales o grupos laterales.

En muchos polímeros (es decir, polímeros de vinilo), la cadena principal consiste enteramente en enlaces C - C. La rotación alrededor de cada enlace C - C es posible, lo que hace que la cadena sea bastante flexible. Sin embargo, cuando la cadena principal está completamente insaturada, es decir, construida de enlaces - C = C-, no es posible la rotación y se obtiene una cadena muy rígida. En el caso de una cadena que contiene enlaces tanto saturados [-CC-] como insaturados [-C = C-] como en el polibutadieno [-CC = CC-], la rotación alrededor del enlace único -CC- todavía es posible y esta cadena es También muy flexible.

La introducción de grupos heterocíclicos y aromáticos en la cadena principal conduce a una disminución sustancial de la flexibilidad. Estos tipos de polímeros a menudo muestran una excelente estabilidad química y térmica. Otros elementos, además del carbono, también pueden estar presentes en la cadena principal, como el oxígeno en poliésteres y poliéteres y nitrógeno en poliamidas. En general, la presencia de oxígeno y nitrógeno en la cadena principal unida a un átomo de carbono aumenta la flexibilidad, pero a menudo los grupos aromáticos o heterocíclicos también están presentes en la cadena principal y estos tienden a dominar la estructura, lo que confiere a la cadena un carácter rígido. Por esta razón, las propiedades de las poliamidas alifáticas y aromáticas difieren considerablemente (**Mulder, 2012**).

Peso molecular

La longitud de la cadena es un parámetro importante para determinar las propiedades de un polímero. Los polímeros generalmente consisten en un gran

número de cadenas y éstas no necesariamente tienen la misma longitud de cadena. De ahí que haya una distribución en peso molecular. La longitud de la cadena a menudo se puede expresar bastante adecuadamente por medio del peso molecular. Sin embargo, la consecuencia de la existencia de diferentes longitudes de cadena en un polímero es que no existe un peso molecular unificado, sino un promedio de peso molecular (**Mulder, 2012**).

Interacciones en cadena

En los polímeros lineales y ramificados, solo las fuerzas de interacción secundarias actúan entre las diferentes cadenas, mientras que en los polímeros de red, las diversas cadenas están unidas entre sí de forma covalente. Las fuerzas intermoleculares secundarias son considerablemente más débiles que los enlaces covalentes primarios. Sin embargo, tienen un fuerte efecto sobre las propiedades físicas del polímero (y, en consecuencia, sobre su permeabilidad) debido a la gran cantidad de interacciones posibles por longitud de cadena total. Se pueden considerar tres tipos diferentes de fuerza secundaria:

- Fuerzas de dipolo (fuerzas de Debye)
- Fuerzas de dispersión (o fuerzas de Londres)
- Fuerzas de enlace de hidrógeno

Algunos polímeros contienen grupos o átomos en los que la carga no se distribuye de manera homogénea. El efecto de la distribución de carga (dipolo) solo es aparente en distancias cortas. Tales dipolos ejercen una fuerte atracción sobre otros dipolos permanentes y tiene lugar la interacción dipolo dipolo. Los dipolos permanentes también pueden influir en grupos neutros en los que pueden inducir un dipolo. Esta interacción dipolo inducida por dipolo es más débil que la interacción dipolo dipolo. Ejemplos de algunos grupos con dipolos permanentes son hidroxilo (**Mulder, 2012**).

Estado del polímero

El estado del polímero es muy importante en relación con sus propiedades mecánicas, químicas, térmicas y de permeación. Al considerar la permeación, se debe hacer una distinción entre membranas porosas y densas, ya que la elección del polímero en estos dos casos implica diferentes criterios. La elección del

polímero no es tan importante cuando se consideran las membranas porosas (micro / ultrafiltración), pero tiene un efecto enorme en la estabilidad química y térmica, y también en los efectos de la superficie como la adsorción y la humectabilidad. (Mulder, 2012).

Además, la elección del agente de limpieza está determinada por la elección del polímero, p. Ej. Las poliamidas son fuertemente atacadas por agentes de limpieza que contienen cloro. En contraste, cuando se consideran membranas no porosas densas, el material polimérico elegido influye directamente en el rendimiento de la membrana y especialmente en la temperatura de transición vítrea T_g y la cristalinidad, que son parámetros muy importantes. Estos parámetros están determinados por factores estructurales como la flexibilidad de la cadena, la interacción de la cadena y el peso molecular (Mulder, 2012).

Estabilidad térmica y química.

Las cerámicas han adquirido un interés creciente como materiales de membrana debido a su extraordinaria estabilidad térmica y química en comparación con los polímeros. Al aumentar la temperatura, las propiedades físicas y químicas de los polímeros cambian y finalmente se degradan. El alcance de dicho cambio depende del tipo de polímero, ya que, en términos generales, la temperatura de transición vítrea T_g es un parámetro importante para los polímeros amorfos vítreos y el punto de fusión T_m para los polímeros cristalinos. Por encima de estas temperaturas respectivas, las propiedades del polímero cambian drásticamente (Mulder, 2012).

Propiedades mecánicas

El comportamiento mecánico implica la deformación de un material bajo la influencia de una fuerza aplicada. En general, las propiedades mecánicas no son muy importantes en los procesos de membrana porque la membrana está sujeta por un material de soporte. Sin embargo, las fibras huecas y las membranas capilares son autosuficientes y, en estos casos, las propiedades mecánicas pueden ser importantes, especialmente cuando se aplican altas presiones, como en la

separación de gases. Por ejemplo, cuando se aplica una alta presión (por ejemplo, más de 10 bar) a un capilar de un material de bajo módulo de tracción (por ejemplo, caucho de silicona), el capilar se romperá. Sin embargo, un material con un alto módulo de tracción (por ejemplo, poliimida) puede soportar fácilmente dicha presión y, de hecho, presiones mucho más altas con una elección adecuada del diámetro de la fibra y el espesor de la pared (**Mulder, 2012**).

Elastómeros

La temperatura de transición vítrea T_g determina si un polímero está en estado gomoso o vítreo en condiciones de trabajo. Cuando la temperatura experimental está por debajo de T_g , el polímero está en estado vítreo, mientras que por encima de T_g el polímero es gomoso. Debido a que la temperatura de trabajo es de alrededor de la temperatura ambiente (o un poco más baja) en muchas aplicaciones de membrana, los materiales siguen siendo gomosos debido a sus valores de T_g muy por debajo de 20°C (**Maglić, et al., 1984**).

Polielectrolitos

Hasta este punto solo se han considerado polímeros neutros. Sin embargo, hay una clase de polímero, los polielectrolitos, que contienen grupos iónicos. Debido a la presencia de cargas fijas, existen fuertes interacciones en tales polímeros y, especialmente, los contraiones son atraídos por las cargas fijas. En el agua u otros disolventes fuertemente polares, los polielectrolitos están ionizados. Dichos polímeros se utilizan principalmente como materiales de membrana en procesos en los que se emplea una diferencia de potencial eléctrico como fuerza motriz tal como en electrodiálisis. También se pueden utilizar en otros procesos de membrana, como microfiltración, ultrafiltración o pervaporación. Los polielectrolitos que contienen un grupo fijo cargado negativamente se denominan membranas de intercambio catiónico porque son capaces de intercambiar contraiones cargados positivamente. Cuando el grupo cargado fijo es positivo, la membrana (o polímero) puede intercambiar aniones cargados negativamente; Tales membranas se llaman membranas de intercambio aniónico (**Maglić, et al., 1984**).

Mezclas de polímeros

Los homopolímeros consisten en un solo tipo de unidad de repetición, mientras que los copolímeros están compuestos de dos (o más) monómeros diferentes que, después de la polimerización, dan una distribución aleatoria o estructuras de bloques o injertos. También es posible mezclar dos polímeros diferentes entre sí a nivel molecular, aunque solo unos pocos de estos polímeros son realmente miscibles. En el caso de dos polímeros, la entropía de la mezcla es muy pequeña y, por lo tanto, es necesario un calor negativo (exotérmico) de la mezcla para asegurar la compatibilidad. Las interacciones específicas, como los enlaces de hidrógeno, a menudo son necesarias. Cuando los dos polímeros son miscibles a nivel molecular, se dice que el material es una mezcla homogénea, en contraste con una mezcla heterogénea, donde un polímero se dispersa en otro. En este último sistema, los polímeros no son de hecho compatibles (**Maglić, et al., 1984**).

Polímeros de membrana

Hasta ahora se han mencionado muchos polímeros y también se han descrito los parámetros estructurales que determinan el estado físico del polímero. Básicamente, todos los polímeros se pueden usar como barrera o material de membrana, pero las propiedades químicas y físicas difieren tanto que solo se utilizará un número limitado en la práctica.

Se realizará una clasificación entre las membranas porosas abiertas, que se aplican en microfiltración y ultrafiltración y las membranas densas no porosas, aplicadas en:

Separación de gases y pervaporación. El motivo de esta clasificación son los diferentes requisitos cuando los materiales poliméricos se utilizan como membranas. Para las membranas de microfiltración y la filtración múltiple, la elección del material no determina directamente las características de separación, ya que el tamaño de los poros y la distribución del tamaño de los poros son los factores principales aquí en relación con el tamaño de la partícula o molecular. Los factores importantes para la elección del material son los requisitos de procesamiento (fabricación de membranas) y la estabilidad química y térmica de la membrana. Para la segunda clase de polímeros que se utilizan para la

separación/pervaporación de gases, la elección del material determina directamente el rendimiento de la membrana (selectividad y flujo) (**Maglić, et al., 1984**).

Membranas inorgánicas

Billmeyer, (1975), Los materiales inorgánicos generalmente poseen una estabilidad química y térmica superior a los materiales poliméricos. Sin embargo, su uso como material de membrana ha sido limitado, aunque ahora se puede observar un creciente interés. La única aplicación en el pasado fue el enriquecimiento de hexafluoruro de uranio (^{235}U) por el flujo de Knudsen a través de membranas cerámicas porosas. Hoy en día todo tipo de aplicaciones se encuentran en el campo de la microfiltración y ultrafiltración. Se pueden distinguir tres tipos diferentes de materiales inorgánicos de uso frecuente: membranas cerámicas; membranas de vidrio; Y membranas metálicas.

Las membranas de vidrio (óxido de silicio o sílice, SiO_2) se preparan principalmente mediante técnicas que involucran lixiviación en vidrios descompuestos. Solo se mencionan las siguientes propiedades del material entre ellas:

- Estabilidad térmica.
- Estabilidad química.
- Estabilidad mecánica.

Membranas biológicas

La estructura y funcionalidad de una membrana biológica (en este contexto, el plasma o la membrana celular) difiere mucho de la de una membrana sintética. Las membranas biológicas o las membranas celulares tienen estructuras muy complejas porque deben poder cumplir muchas funciones específicas. Sin embargo, una característica de varios: las membranas celulares es que contienen una estructura básica de bicapa lipídica. Cada molécula lipídica posee una parte hidrofóbica y otra hidrofílica. Esta estructura existe en diferentes tipos de membrana celular, la parte polar está situada en la interfaz agua / membrana y la parte hidrófoba se encuentra en el medio (**Díaz y Ramírez, 2007**).

Una de las clases de lípidos más comunes son los fosfolípidos. Dos grupos hidroxilo de glicerol están unidos a dos cadenas largas de ácidos grasos. Estas largas cadenas de ácidos grasos, generalmente de 16 a 21 átomos de carbono, forman la parte hidrófoba de la molécula lipídica. El ácido graso puede estar completamente saturado, como por ejemplo en el ácido palmítico, pero también puede contener uno o más enlaces dobles. El grupo fosfato está unido al tercer grupo hidroxilo de glicerol. Otro grupo polar, a menudo una sal de amonio cuaternario, como por ejemplo en la colina, está unido a este grupo fosfato.

3.3. Aplicaciones en la industria de alimentos

Existe un sin número de ejemplos que demuestran la aplicación de la tecnología membranaria en la industria de alimentos.

La filtración por membrana se utiliza para purificar o concentrar disoluciones y suspensiones o bien para fraccionar una mezcla de varios solutos y se puede utilizar como alternativa a la floculación, las técnicas de purificación de sedimentos, la adsorción (filtros de arena y filtros de carbón activado, intercambiadores iónicos), extracción o destilación (**Díaz y Ramírez, 2007**).

- Procesamiento de leche entera micro filtrada. Esto permite eliminar más del 99% de bacterias sin comprometer las propiedades físicas, químicas y sensoriales hasta 15 días a 6°C. Más del 99% de las proteínas lácteas logran atravesar la membrana (**Binetti, et al., 2004**).

✓ Ultrafiltración y secado de mucílago de nopal

Se estudió la ultrafiltración y el secado por aspersion de mucílago de nopal. Se probaron dos formas de extracción del mucílago, prensado y molienda, la molienda da un rendimiento de 54% y el prensado sólo del 15%. Después se probaron diferentes membranas de ultrafiltración, 100, 10 y 1 kDa, se seleccionó el cartucho de 100 kDa por presentar el mayor flux de filtrado y prácticamente el mismo grado de retención de polisacárido que las otras membranas (85%). Para los estudios de ultrafiltración se trabajó un factor de concentración de diez y la experimentación fue enfocada para encontrar las condiciones que maximizaran el

flux, las cuales fueron: presión transmembrana 140 kPa; velocidad de alimentación: 0.8 m/s; temperatura: 40 °C; y pH de 5. El flux promedio alcanzado bajo estas condiciones fue de 7×10^{-6} m/s. Se determinaron las constantes reológicas del mucílago de nopal antes y después de la ultrafiltración. El mucílago inicial tiene una concentración de polisacárido de 3.5 g/L y presenta valores promedio de (n) y (K) de 0.77 y 10 mPa.sn , respectivamente. El valor de (n) del mucílago concentrado no varía, mientras que (K) puede incrementarse de 50 a 100 veces. Para el secado por aspersion del mucílago de nopal concentrado por ultrafiltración se probaron diferentes condiciones de operación. Se encontraron las siguientes condiciones a través de las cuales se logra un secado exitoso donde los polvos obtenidos presentaron una humedad de 3 a 5 %: temperatura del aire de secado: 170 °C; flujo de alimentación del aire de secado: 7 m³ /h; presión de atomización: 50 psi; flujo de alimentación de mucílago concentrado: 0.37 L/h. Finalmente, los polvos así obtenidos fueron resuspendidos a una concentración de 3.5 g/L y se determinaron sus propiedades reológicas. El valor de (n) fue de 0.78 y (K) proporcionó un valor de 17 mPa.sn . El polvo de mucílago de nopal así obtenido puede ser adecuado para su aplicación en las áreas alimentaria y farmacéutica (Díaz y Ramírez, 2007).

3.4. Aplicaciones de la tecnología de ultrafiltración en la elaboración industrial del queso.

El lacto suero es un subproducto de la industria láctea de gran interés no solamente por la presencia de lactosa sino por su contenido en proteínas solubles, α - lactoalbumina y la fi-lactoglobulina ricas en aminoácidos esenciales, las cuales representan el 20% y 50% respectivamente, con un alto valor funcional y nutricional (Riquelme, 2010).

La utilización industrial del suero plantea numerosos problemas y por lo tanto un gran volumen se descarta al medio ambiente. En la actualidad, esta práctica está prohibida y necesariamente debe ser depurada; esta operación es costosa y mantiene una gran pérdida de elementos nutrientes, por lo tanto, es preferible utilizar técnicas apropiadas para su aprovechamiento. Los procesos industriales actuales se centran en la eliminación del agua, recoger las sales

minerales, cristalizar la lactosa y recuperar las proteínas solubles del suero sin alterar sus propiedades funcionales y nutricionales, por lo tanto, la utilización industrial del lacto suero va a depender del componente del mismo que se quiera aprovechar (Almecija, 2007).

✓ Obtención de derivados lácteos por ultrafiltración

Gutiérrez, (2013) indica que las membranas de Ultrafiltración el corte se basa en mediciones del peso molecular de los posibles sólidos a filtrar medidos en Dalton, y en Microfiltración el corte es absoluto, ofreciendo una retención 100% de toda la partícula igual o mayor al tamaño de poro. En la figura 11, podemos ver un esquema de cómo se produce la separación mediante Ultrafiltración para leche/suero.

Para entender las aplicaciones de la Ultrafiltración hay que tener muy en cuenta la composición de la leche y del suero lácteo, que son los principales productos sobre los que van a trabajar las plantas.

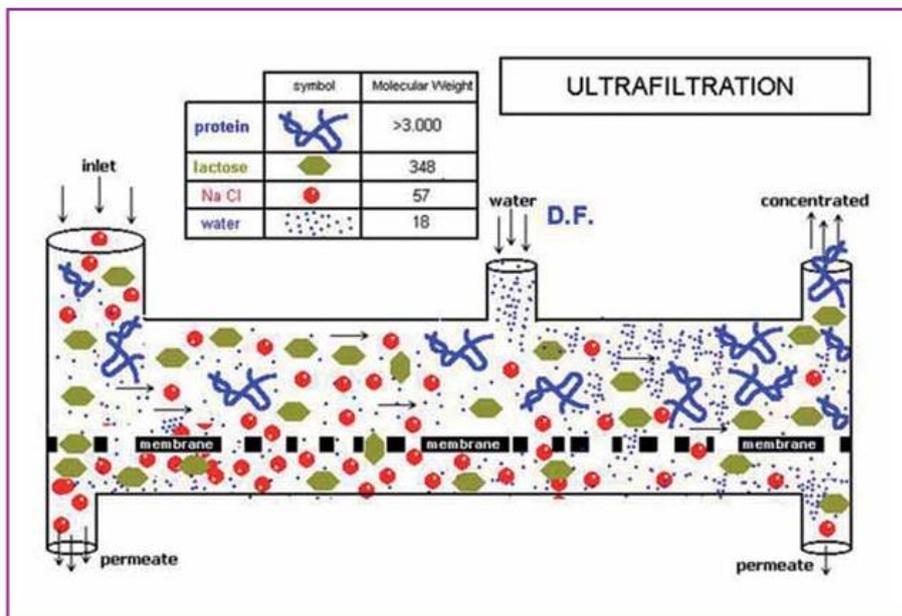


Figura 12. Esquema Ultrafiltración Leche/Suero

El suero es un subproducto que se deriva del proceso de elaboración del queso a partir de la leche y la principal diferencia entre ambos es que la leche tiene una concentración de sólidos dos veces mayor que el suero lácteo. En el caso de la leche tomamos como composición estándar aquella de la leche entera de vaca.

Mediante el tratamiento con Ultrafiltración se consigue separar los componentes de mayor peso molecular (grasa y proteínas) de la corriente de entrada, eliminando gran parte de la lactosa y pequeñas proteínas. De esta manera conseguimos un concentrado que varía entre un 30 - 40 % dependiendo del tipo de suero o leche y sólidos totales del producto a tratar. Indicar que en el caso de la Ultrafiltración no es necesario descremar previamente la leche o el suero, pero se recomienda ya que aumenta el rendimiento de la planta (**Gutiérrez, 2013**).

Ultrafiltración de la Leche en la elaboración Queso/Queso fresco. La leche se somete inicialmente a un proceso de concentración por ultrafiltración. En este proceso se concentra grasas y proteínas de alto valor biológico descartándose parte del suero junto con azúcares y sales. Esta leche concentrada se utiliza para producir queso, aumentándose el rendimiento de las cubas ya que se desuera menos y ahorrándose además en cuajo y fermentos. También puede ocurrir que se vierta directamente al envase donde se le añaden los fermentos o el cuajo, produciéndose el cuajado directamente en el propio envase.

La industria láctea aplica la técnica de ultrafiltración en el lacto suero obtenido de la elaboración del queso para recuperar las proteínas solubles y usarlas en la formulación de nuevos productos o incorporarlas posteriormente a la leche destinada a la producción del mismo mejorando su rendimiento. Este proceso tecnológico se usa en la industria del queso con resultados satisfactorios en cuanto al aprovechamiento de las proteínas del suero y mejoras en el rendimiento de la producción del queso (**Pedersen & Ottosen 1992; Cunningham, 2007**).

3.5. Inmovilización de enzimas. Fundamentos, métodos y aplicaciones

Arroyo (1998), La inmovilización de enzimas es un proceso en el que se confina o localiza a la enzima en una región definida del espacio, para dar lugar a formas insolubles que retienen su actividad catalítica y que pueden ser reutilizadas repetidamente. Posteriormente esta definición se ha ampliado a aquel proceso por el cual se restringen, completa o parcialmente, los grados de libertad de movimiento de enzimas, orgánulos, células, etc. por su unión a un soporte. Como ventajas del empleo de enzimas inmovilizadas podemos destacar:

1. El aumento de la estabilidad de la enzima
2. La posible reutilización del derivado, por lo que disminuyen los costes del proceso.
3. La posibilidad de diseñar un reactor enzimático de fácil manejo y control, adaptado a la aplicación de la enzima inmovilizada.

Los diferentes tipos de reactores enzimáticos aparecen en la Figura 12. Estos reactores con enzimas inmovilizadas permiten el empleo de cargas elevadas de enzima, la cual mantendrá su actividad durante más tiempo. Estos sistemas pueden incluir el reciclado, lo que permite la obtención de productos con mayor pureza.

Los principales inconvenientes del proceso de inmovilización son:

1. La alteración de la conformación de la enzima respecto de su estado nativo.
2. La gran heterogeneidad del sistema enzima-soporte donde pueden existir distintas fracciones de proteínas inmovilizadas con un diferente número de uniones al soporte.
3. Siempre suele haber una pérdida de actividad de la enzima durante la movilización.
4. El biocatalizador es más caro que la enzima nativa.

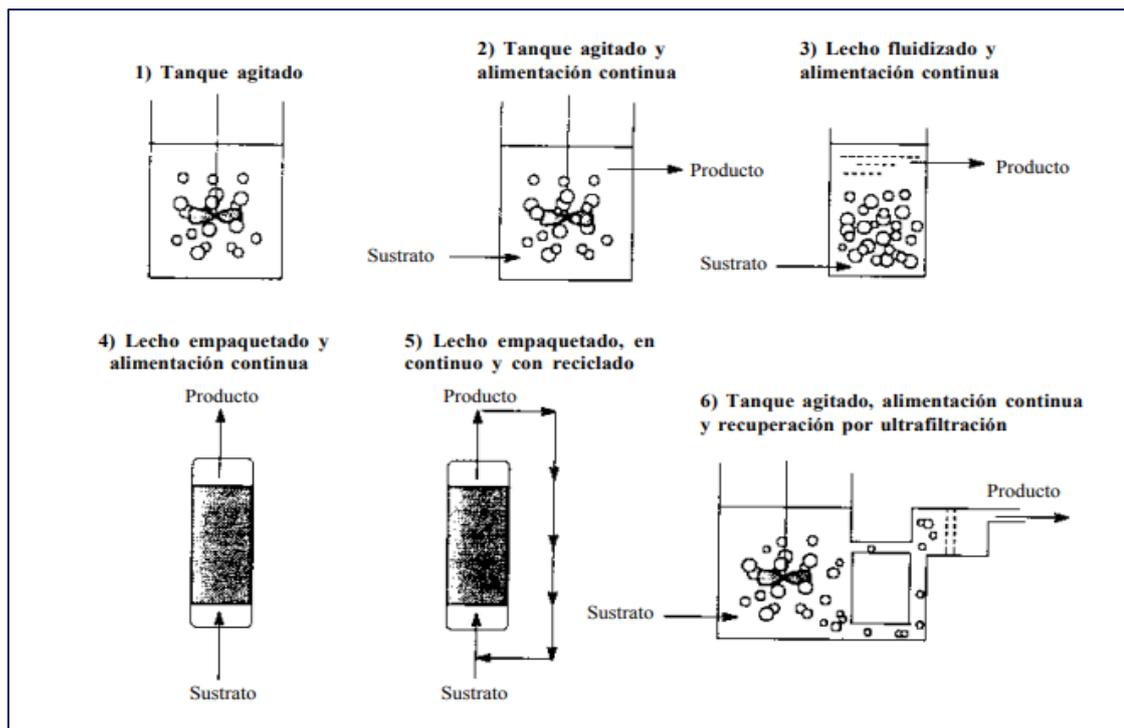


Figura 13. Reactores enzimáticos que emplean enzimas inmovilizadas. Arroyo, (1998).

✓ Obtención de aislados proteicos de harina desengrasada de oleaginosas

Aunque el concentrado proteico presenta unas mejores características químicas que la harina, como por ejemplo la mayor riqueza proteica, aun presenta contenidos elevados de otros componentes no deseados en el producto final. Entre estos compuestos se pueden destacar la fibra, los azúcares reductores, los fenoles, los lípidos y los glucosinolatos en el caso de la colza. La fibra (celulosa, hemicelulosa, lignina, sustancias pécticas, etc) es el componente mayoritario entre los no deseables y de gran importancia, por su abundancia en algunas fuentes proteicas como la torta de girasol desengrasada (Vioque, et al., 2001).

Debe ser eliminada para enriquecer el producto en proteína y facilitar su consumo por monogástricos. Los azúcares reductores pueden producir una pérdida de la calidad de la proteína, ya que reaccionan con las proteínas mediante la reacción de Maillard, dando lugar a la formación de una base de Schiff y produciéndose una disminución en los contenidos de lisina, metionina y triptofano asimilable (Vioque, et al., 2001). Obtención y aplicaciones de concentrados y aislados proteicos. Concentración proteica por ultrafiltración.

Con este método, las moléculas solubles no proteicas de bajo peso molecular atraviesan la membrana y constituyen el permeado, mientras que las proteínas son retenidas. La principal ventaja de esta alternativa es que permite recuperar no solo las proteínas insolubles en el pI sino también las solubles (**Vioque, et al., 2001**).

✓ **Efecto de la Ultrafiltración sobre las propiedades reológicas de gelatina comestible de origen bovino**

Serna-Cock, (2010), evaluó el efecto de la ultrafiltración en el proceso de concentración de gelatina comestible tipo B sobre el poder viscosante y gelificante del producto en polvo. Los resultados se compararon con los obtenidos por evaporación. La gelatina se obtuvo de carnaza bovina entera (parte central de la dermis) y mezclas de ésta con desorillo sebo (extremos de la dermis) en proporción 50:50 y con desorillo sebo y carnaza bovina seca en proporción 50:25:25, respectivamente.

Se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. El mayor efecto se presentó en la tercera hora de procesamiento con el uso de ultrafiltración y mezcla de carnaza entera y desorillo-sebo, donde el 38.5% de la producción presentó viscosidades mayores a 42 milipoises y el 69% poder gelificante por encima de 300 g. En contraste, se obtuvo 7.7% y 46% respectivamente con evaporación, Esto revela los beneficios de la ultrafiltración en el proceso de concentración y en la calidad de la gelatina (**Serna-Cock, 2010**).

En la figura las partes del equipo están enumeradas como sigue: (1) Tanque de alimentación, (2) Válvula manual de alimentación de la bomba de limpieza (V-4), (3) Bomba de limpieza (P-2), (4) Bomba de alimentación (P-1), (5) Válvula manual de admisión de la bomba de alimentación (V-5), (6) Colector de permeado de la etapa 100, (7) Tapón-colector de la cámara de membranas, (8) Cámara de membranas de la etapa 100, (9) Válvula manual para la medición del flujo de permeado de la etapa 100, (10) Medidor electrónico de flujo de permeado, (11) Válvula manual de descarga de la bomba de recirculación de la

etapa 100 (V-100), (12) Bomba de recirculación de la etapa 100 (P-100), (13) Válvula manual de descarga de la bomba de limpieza (V-3), (14) Válvula manual de alimentación de la bomba de recirculación de la etapa 100 (V-101), (15) Intercambiador de etapa 100, (16) Válvula manual de drenaje de le etapa 100, (17) Válvula manual para la medición de flujo de permeado de la etapa 200, (18) Cámara de membranas de la etapa 200, (19) Válvula neumática de control de alimentación al equipo (V-1), (20) Colector de permeados de alimentación, (21) Medidor electrónico del flujo de alimentación, (22) Intercambiador de la etapa 200, (23) Válvula manual de admisión de la bomba de recirculación de la etapa 200 (V-201), (24) Válvula manual de descarga de la bomba de recirculación de la etapa 200 (V-200), (25) Bomba de recirculación de la etapa 200 (P-200), (26) Válvula manual de drenaje de la etapa 200 (V-202), (27) Medidor electrónico de flujo de concentrado, (28) Válvula neumática de control de concentrado (V-2).

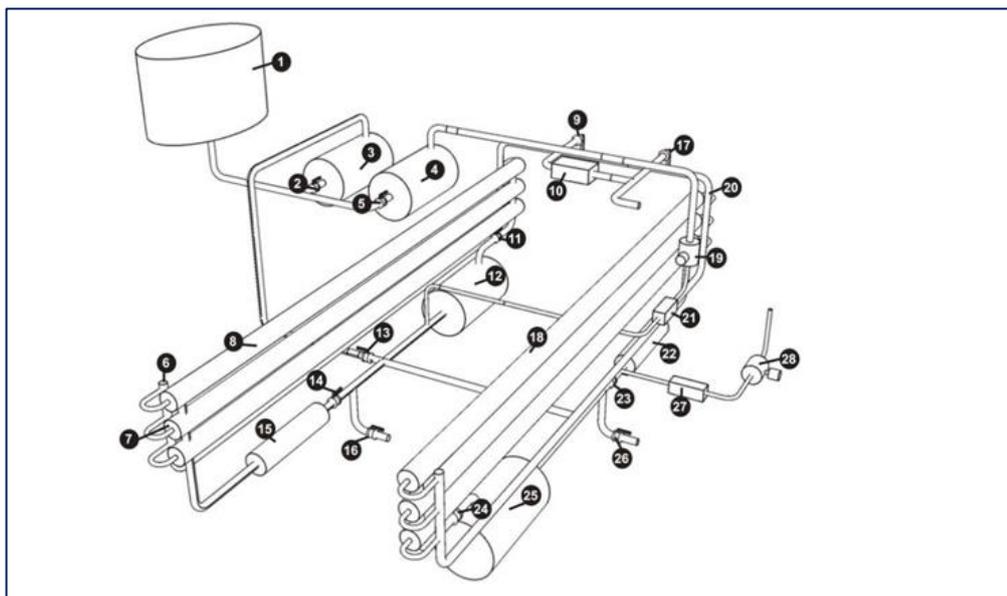


Figura 14. Diseño detallado del equipo de ultrafiltración

El equipo de UF se utilizó hasta alcanzar 60 °C debido a que temperaturas por encima de esta disminuyen la vida media de las membranas. Esta temperatura se alcanza entre 13 a 15 h de procesamiento.

✓ **Concentración de extracto pectínico de limón aplicando ultrafiltración**

Stechina (2012) menciona que la cáscara del limón contiene alrededor del 30% (B.S.) de sustancias pépticas que tienen relevante valor comercial por sus propiedades gelificantes y espesantes en una amplia variedad de productos alimenticios, farmacológicos y cosmetológicos. Los procesos de membrana tienen múltiples aplicaciones en la elaboración de alimentos. En este trabajo se analiza la influencia de las variables operativas de ultrafiltración en el flujo de permeado instantáneo (FP) y el requerimiento energético en la concentración de extracto pectínico obtenido de cáscara de limón. Se trabajó con un módulo de laboratorio DDS, modelo LAB 20-772 provisto de membranas de material sintético cuyo poder de corte es 9 kDa, lo que da una resistencia intrínseca de membrana (R_m) de $3 \cdot 10^{13} \text{m}^{-1}$. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la caída de FP motivado por la presencia de la resistencia debido a la polarización, la influencia de las variables operativas en el FP y brinda la información necesaria para estimar el requerimiento energético en función del caudal de alimentación, a temperatura constante, el cual puede compararse con el incremento de concentración de pectina en la corriente del retenido respecto a la concentración del extracto inicial.

✓ **Tratamiento con membranas de microfiltración en agua potable**

Fane (1994) y Jacangelo (1995) Tratamiento de aguas superficiales - Desinfección por microfiltración directa el uso de una membrana de microfiltración de 0,2 micrones en una planta de filtración de agua potable permite abordar en un solo paso algunos de los problemas más discutidos con respecto a las tecnologías

- 1) Remoción de quistes de *Giardia*, oocistos de *Cryptosporidium*, coliformes y otros parásitos, así como sólidos suspendidos
- 2) Reducción de virus
- 3) Reducción del uso de desinfectantes químicos
- 4) Reducción de productos químicos de sedimentación y
- 5) Reducción de lodos que necesitan disposición.

Actualmente, los quistes de *Cryptosporidium* y *Giardia* son un gran problema en los reservorios de aguas superficiales no protegidos. Estos quistes y ovocitos se encuentran presentes como resultado de la contaminación por aguas residuales domésticas y también por microorganismos vivos naturales que defecan en el agua. Estos parásitos son sólo dos de los muchos que contaminan las aguas limpias. A diario, la OMS encuentra más parásitos en el agua que representan un riesgo para la vida humana.

La remoción de quistes usando membranas es una tarea fácil, ya que su diámetro es mayor que el diámetro de la mayoría de las membranas de microfiltración. La figura 5 muestra el tamaño de dos parásitos comúnmente encontrados en aguas norteamericanas: *Cryptosporidium* y *Giardia*, vistos a través de un microscopio con escaneo electrónico. En estas imágenes se puede apreciar por qué estos parásitos serían fácilmente removidos por una membrana de microfiltración con poros de 0,2 micrones, sin tener que recurrir a productos químicos u otros procesos de tratamiento.

Tratamiento de aguas subterráneas mediante la microfiltración

El agua de pozo a menudo contiene hierro y manganeso, los que se deben remover para el consumo humano. Muchas comunidades pequeñas dependen de abastecimientos comunales de agua subterránea y requieren sistemas que aseguren la remoción de metales, turbiedad, sulfuro de hidrógeno y microorganismos, al mismo tiempo que minimicen el uso de productos químicos y la generación de lodo (Clark y Parrotta, 1991).

Los pozos con alto niveles de hierro y manganeso son comunes en ciertas partes del mundo, según la formación geológica. Las tecnologías convencionales, tales como la arena verde y la oxidación/sedimentación, son efectivas en concentraciones bajas a medianas. Cuando las aguas de pozo contienen más de 5mg/l de hierro y más de 1 mg/l de manganeso, las tecnologías convencionales ya no son tan efectivas debido al atascamiento del filtro causado por el hierro precipitado y por las películas de bacterias del hierro. Además, muchos pozos bajo la influencia de aguas superficiales también contienen microorganismos,

quistes y oocitos que se deben remover de manera efectiva para el consumo seguro del agua potable. A menudo, los pozos profundos contienen H_2S y sustancias orgánicas que también se deben remover, lo cual muchas veces da lugar a una planta de tratamiento más compleja que la requerida por estas aguas limpias (Clark y Parrotta, 1991).

Debido a sus características de diseño, la membrana ZeeWeed resuelve muchos de estos problemas sin la adición de etapas innecesarias.

✓ **Potencialidades de los procesos de membrana aplicados a jugos de fruta.**

Dornier et al., (2018), indican que los procesos de membrana son una amplia familia de procesos de separación que pueden usarse para la concentración o eliminación de una amplia gama de constituyentes de líquidos alimenticios.

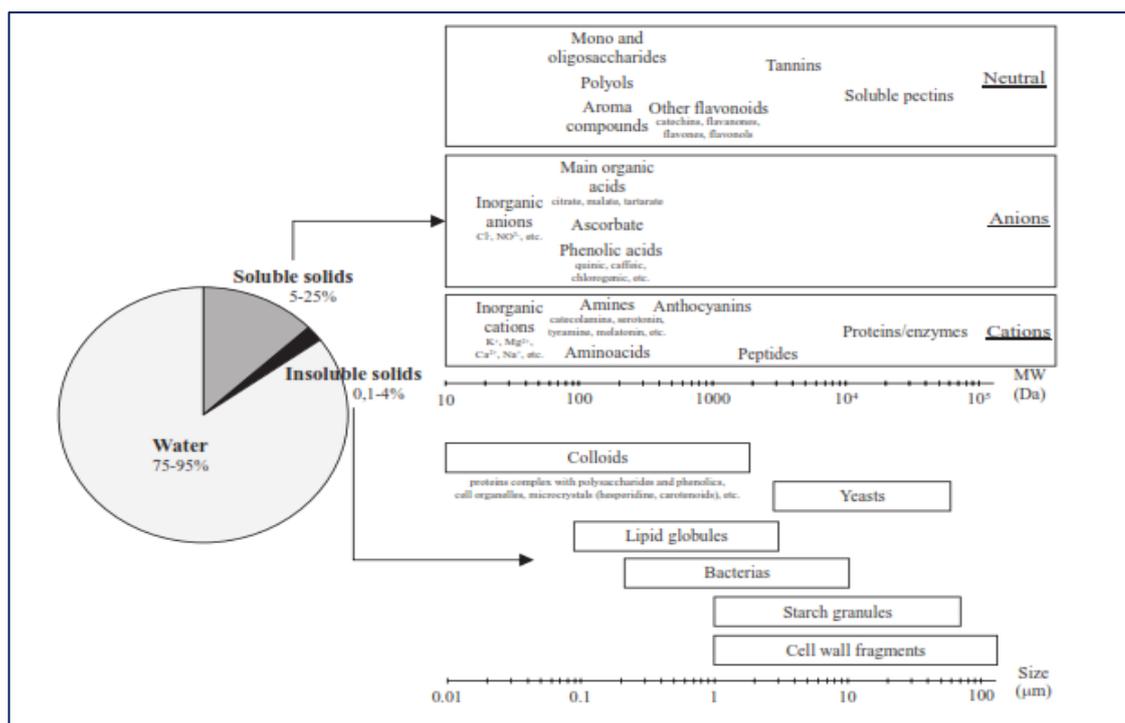


Figura 15. Representación esquemática de los diferentes compuestos o especies presentes en los zumos de frutas, clasificados según su naturaleza y tamaño (Dornier et al., 2018).

Con el fin de evaluar sus potencialidades para aplicaciones de zumos de fruta específicamente, podemos hacerlo estudiando la composición del zumo de frutas. Por supuesto, esta composición depende en gran medida de muchos factores,

como las especies de fruta, la variedad, la madurez, las condiciones del suelo y del clima, incluso las prácticas culturales o el procesamiento de la extracción de jugo. Sin embargo, desde un punto de vista cualitativo, la composición de los zumos de frutas es en realidad muy similar. Sea cual sea el producto, siempre están presentes los mismos compuestos (Figura 14).

En primer lugar, los jugos de frutas contienen una cantidad muy grande de agua, de 75 a 95% en peso. La concentración de la materia seca es, por lo tanto, una primera operación de unidad requerida por la industria de jugos de fruta, principalmente por razones económicas. La extracción de agua permite reducir considerablemente los costos de transporte y almacenamiento. El principal desafío es concentrar el jugo modificando lo menos posible la calidad sensorial y nutricional de las materias primas. En comparación con la evaporación al vacío, la tecnología de referencia utilizada en la industria, algunos procesos de membrana podrían ser de gran interés. Debido a la menor temperatura utilizada, deberían dañar menos los compuestos sensibles a la temperatura. Los procesos de membrana impulsados por presión con corte de peso molecular muy bajo, como la ósmosis inversa o la nanofiltración, son capaces de separar el agua desde los solutos más pequeños. Los contactores de membrana como la evaporación osmótica también pueden ser extraídos de forma selectiva del agua sin calentar el jugo (**Dornier et al., 2018**).

- **Desventajas de la ultrafiltración**

Efectos de los procesos de ultrafiltración y de hidrólisis enzimática sobre las propiedades funcionales del plasma bovino deshidratado

La sangre obtenida del faenado del ganado bovino es considerada un subproducto de menor valor, a pesar de su alto contenido de proteínas de gran calidad.; A diferencia de lo que ocurre en algunos países, en los cuales la sangre o alguno de sus componentes se utiliza como complemento alimenticio humano, en muchos países una pequeña fracción de la sangre recolectada es aprovechada, destinándola principalmente a consumo animal.; **Simonetti et al. (2016)** en su

Tesis evaluó el potencial como aditivo alimentario humano del plasma bovino deshidratado, un derivado de la sangre bovina que se utiliza únicamente como complemento nutricional animal.; En la Primera Parte de este trabajo se obtuvo plasma desmineralizado mediante un proceso de diafiltración y se evaluaron algunas de sus propiedades funcionales (Solubilidad, Capacidad de Retención de Agua, capacidad de Retención de Aceite, Capacidad Emulsionante, Capacidad Espumante y Capacidad Antioxidante), comparándolas con las del plasma sin diafiltrar.

Como resultado de las tareas llevadas a cabo en esta Primera Parte, se lograron establecer las condiciones operativas para efectuar el proceso de diafiltración de manera eficaz y se pudo evaluar el efecto de dicho proceso sobre las Propiedades Funcionales del plasma consideradas.; La Solubilidad del plasma resultó alta en un amplio rango de pH, e incluso mejoró luego del proceso de diafiltración en algunos valores de pH.; Los procesos realizados al plasma aumentaron su Capacidad de Retención de Agua; en cambio, su Capacidad de Retención de Aceite disminuyó.; El plasma mostró una Capacidad Emulsionante acorde a lo descrito en la bibliografía; la diafiltración y la posterior deshidratación no la afectaron, pero sí aumentaron la estabilidad de las emulsiones formadas.

El plasma mostró una gran capacidad para formar espumas estables, las cuales no resultaron afectadas por los procesos efectuados sobre él; mismo.; El plasma deshidratado original mostró una Capacidad Antioxidante similar a la descrita en la bibliografía.; El efecto del proceso de diafiltración sobre la misma no pudo ser establecido.; En la Segunda Parte de este trabajo se obtuvieron dos hidrolizados enzimáticos a partir del plasma, utilizando la enzima Alcalase, con diferentes grados de hidrólisis.; Se evaluaron las propiedades funcionales de los hidrolizados, comparándolas entre sí y con las del plasma original.; Como resultado de estas tareas se definieron las condiciones del proceso de hidrólisis, comprobándose la obtención de fragmentos proteicos y péptidos de distinto tamaño molecular.; Con respecto a las Propiedades Funcionales, los hidrolizados obtenidos resultaron ligeramente más solubles que el plasma deshidratado original, y la hidrólisis con Alcalase afectó notoriamente a las propiedades surfactantes de las proteínas plasmáticas, tanto a la Capacidad Emulsionante como a la Capacidad Espumante (**Simonetti et al., 2016**).

En cambio, la hidrólisis enzimática aumentó marcadamente la Capacidad Antioxidante del plasma deshidratado.; Los hidrolizados obtenidos presentaron una actividad de secuestro de radicales libres significativamente mayor que la del plasma original, y esa mayor actividad antioxidante resultó asociada al menor tamaño de los péptidos obtenidos. ; En virtud de los resultados obtenidos, se concluye que el plasma bovino deshidratado, tanto en su forma original como desmineralizado, tiene potenciales aplicaciones como aditivo alimentario para mejorar algunas propiedades funcionales de los alimentos, y que los hidrolizados que se obtuvieron de él con la enzima Alcalase poseen una alta capacidad antioxidante, que los haría viables para ser utilizados como aditivos conservantes para prolongar la vida útil de los alimentos.; De ser viable su uso en alimentos humanos, esto aumentaría el valor agregado de este subproducto de la industria cárnica.; Por último, se discuten algunas líneas de trabajo que deberían realizarse para completar su posible implementación en la industria alimenticia humana **(Simonetti et al., 2016)**.

IV. DISCUSIÓN DE LA INFORMACION

4.1. Discusión del perfil propuesto

- Este perfil se aboca a tendencias hacia los sistemas dedicados en ilustrar, describir, un número de aplicaciones más o menos establecidas de membranas en la industria alimentaría conjuntamente con algunos nuevos avances especializados que parecen tener gran potencial en la producción de alimentos de alta calidad.
- Las aplicaciones de membrana se están expandiendo rápidamente en campos que van desde la ingeniería química, la ciencia ambiental y el tratamiento del agua hasta la ciencia de los alimentos y la ingeniería electrónica. Como resultado, existe una necesidad crítica de un recurso central en estos procesos que cierre la brecha entre los fundamentos y los usos industriales cotidianos. Este nuevo trabajo responde a esa necesidad al ofrecer una descripción completa de los principios, membranas, módulos de membrana, diseño de procesos, aplicaciones y datos para los procesos de membrana.

4.2. Ventajas y desventajas de la tecnología de Micro y Ultrafiltración frente a otros Métodos Tradicionales Empleados en Procesos Alimentarios

4.2.1. Microfiltración

- Las técnicas clásicas empleadas para incrementar la conservación y la seguridad de algunos productos terminados se basan en tratamientos térmicos, como la pasteurización y la esterilización. Estos tratamientos requieren importantes cantidades de energía, por lo que la filtración no encarece el producto, e incluso, puede conseguir un ligero abaratamiento. Además, las técnicas de tratamiento por calor modifican algunas propiedades sensoriales, especialmente el sabor.
- La Microfiltración tiene diversas aplicaciones, algunas de ellas son: el tratamiento de aguas residuales y la esterilización de leche; la separación y

purificación de componentes de coproductos de industria de alimentos, por ejemplo, de los caldos de fermentación de arroz; la remoción e inactivación de virus, clarificación y recuperación de biomasa, entre otros.

- En el caso de los lácteos, la Microfiltración es una forma alternativa para producir proteínas de suero de leche. Las proteínas séricas solubles, recuperadas en el permeado, tienen el mismo pH que la leche, a diferencia de suero de queso tradicional, que es relativamente ácido. Por lo tanto, el valor tecnológico y económico del obtenido por MF es mayor que el tradicional, ya que la solución de proteínas de lactosuero no contiene péptidos de caseína, enzimas, grasas y proteínas de suero desnaturalizadas.
- La microfiltración constituye una alternativa a los tratamientos térmicos ya que puede conseguir una reducción de la carga microbiana, manteniendo el sabor del producto fresco, recién exprimido u ordeñado.
- Utilizando tecnología como la microfiltración se ha apreciado un cierto cambio para el desarrollo de los alimentos que en su base son similares a los tradicionales pero que en la práctica son sensiblemente diferentes. Así, se obtienen alimentos con poca sal, sin azúcar, alcohol gluten o con formulaciones diferentes según la demanda del mercado. Incluso se crean nuevos alimentos con ventajas para la salud de los consumidores.
- El enfoque moderno en usar Microfiltración de flujo cruzado para la obtención y recuperación de enzimas, tiene varias ventajas importantes sobre tecnología tradicionales

4.2.2. Ultrafiltración

- La ultrafiltración representa una innovación real en la elaboración del queso, sector en el que ofrece ventajas considerables a fabricantes y consumidores. Durante el proceso de fabricación del queso, algunos de los nutrientes presentes en la leche se pierden en el suero (carbohidratos, vitaminas solubles y minerales). Estas pérdidas tienen importantes

consecuencias económicas que encarecen la operación de procesado. La ultrafiltración es un medio eficaz para recuperar estos nutrientes, que pueden utilizarse posteriormente para elaborar o enriquecer otros alimentos.

- Las membranas de más aplicación en la industria alimentaria son las de microfiltración y ultrafiltración ya que pueden trabajar a bajas temperaturas y garantizan una desinfección y esterilización perfectas de los sistemas en que se manipulan alimentos, la vez que se mantienen sus cualidades organolépticas.
- La gelatina en polvo animal, rica en proteínas coloidales y formadas a partir de la hidrólisis del colágeno, se puede obtener por ultrafiltración, con lo que se obtienen mejores resultados que con la evaporación y el secado tradicional.
- Los productos obtenidos (concentrados proteicos con un mínimo de grasa residual) fueron comparados con productos comerciales, y obsérvese el desempeño igual o mejor en relación con sus propiedades funcionales (solubilidad, aereación, y estabilidad de la espuma).
- La clarificación y estabilización de vinos mediante filtración con membranas inorgánicas permite un filtrado en el cual se obtiene un rechazo semisólido, formado principalmente por partículas en suspensión y coloides levaduras y bacterias. Con esta filtración se obtienen unos rendimientos del 98 al 99% ya que normalmente la filtración tiene lugar hasta que el rechazo supone un 1 a 2% del volumen del vino alimentado. Las membranas inorgánicas permiten reiteradas limpiezas químicas para conseguir la completa regeneración del flujo de permeabilización de las membranas, posibilitar su esterilización y garantizar su vida media (superior a 5 años). lo que ha supuesto un gran avance en la implantación de esta tecnología.

V. PROPUESTA DE APLICACIÓN Y/O MEJORA

- Una membrana tiende a ser desarrollada para una cierta aplicación, ser especializado para aplicarse a un producto particular o aun para mejorar la calidad de ese producto. Esta es una tendencia creciente para membranas para ser desarrollado en problema particulares de separación. La selección de la membrana apropiada es uno de los pasos cruciales durante el desarrollo del proceso, y la preparación de la membrana frecuentemente específica o la modificación está involucrada. Incluso las técnicas más nuevas como la pervaporación y la tecnología bipolar de membrana son técnicas que posteriormente ayudaran a mejorar la calidad de los productos finales, pero por supuesto necesita de mayores estudios para su completa aprobación. En el caso de la ósmosis inversa, la pervaporación pueden proveer especies que tienen tamaños comparables. como cloruro de sodio y el agua.
- En la clarificación del vino, existen varias etapas de filtración, desde el desbaste hasta la esterilización, que pueden ser sustituidas por una etapa de microfiltración. También se puede utilizar la osmosis inversa para concentrar el vino y acelerar el proceso de precipitación tartárica, o para obtener vino y cerveza con bajo contenido de alcohol.
- Para la obtención de azúcar de caña o remolacha hay que realizar una clarificación del zumo para eliminar las partículas coloidales y en suspensión, lo que puede hacerse por ultrafiltración.
- Una remoción de la grasa es utilizada para mejorar la capacidad de aereación de los concentrados proteicos del suero; así como otras propiedades funcionales como: solubilidad, capacidad de retención del agua, capacidad de gelatinización, estabilidad de la espuma y capacidad de la emulsificación. La microfiltración puede ser usada para producir aislados de proteína con tenor reducido, y libre de grasa; aumentando la eficiencia de ultrafiltración.
- En la Industria de lácteas, la microfiltración es generalmente usado en una etapa anterior a la ultrafiltración. Proteínas solubles, bien como la lactosa, sales

minerales y agua pasan por la membrana en la filtración. Este proceso remueve grandes glóbulos y moléculas de grasa.

- En combinación con otras técnicas (filtración por membranas, métodos enzimáticos por cromatografía), la microfiltración de leche desnatado permite aislar y purificar caseínas, así como bioactivar derivados de péptidos que se encuentra aplicado en industrias farmacéuticas.

VI. CONCLUSIONES

- La tendencia presente de tecnología de membrana en el procesamiento de alimentos es producir más membranas especializadas que están dedicadas a un proceso, un producto o para mejorar la calidad de un producto existente.
- La microfiltración se utiliza normalmente para esterilizar la cerveza en frío. Todas las comprobaciones y verificaciones de parámetros de funcionamiento, fases de proceso, seguridad y alarma, así como todas las calibraciones verificadas según la lista de cualificación operacional, deben ser correctas. La simulación del proceso de producción deberá efectuarse de forma continua, sin incidencias relevantes (alarmas, paros...), y con resultados en cuanto a variables críticas de cada etapa, que sean considerados correctos para la implantación posterior en el proceso de producción de productos.
- La tecnología de microfiltración tangencial permite obtener productos de alta calidad, especialmente organoléptica, microbiológica y funcional. Se ha transformado en una línea para obtención de compuestos bioactivos y representa una alternativa interesante para procesar frutas exóticas.
- La Ultrafiltración ha empleado para el fraccionamiento de leche, suero y proteínas, la recuperación de biomoléculas a partir de salmueras, el tratamiento de agua para consumo humano; la concentración de proteínas y anticuerpos solubles. Es un proceso atractivo para la reducción de hasta un 10% de la lactosa en la leche. Las grasas y las proteínas quedan en el retenido, mientras que la lactosa, algunos minerales y sales pueden pasar fácilmente a través de la membrana.
- El empleo de la ultrafiltración también es aplicable para la concentración de enzimas, análisis de bacteriófagos y virus y preparación de ultrafiltrados libres de células y proteínas a partir de soluciones biológicas, sin embargo, era un proceso restringido a escala de laboratorio debido a las dificultades que su escalamiento implicaban. Sin embargo, en la actualidad se han desarrollado la tecnología y crearon un sistema de membranas a escala industrial.

- La ultrafiltración de la leche representa la primera innovación real en la elaboración de quesos ofreciendo ventajas considerables a consumidores y fabricantes. Durante la fabricación de queso, algunos de los nutrientes de la leche o el suero se pierden (proteínas, azúcares y sales minerales). Estas pérdidas tienen consecuencias económicas considerables que encarecen el proceso. La ultrafiltración es un medio eficaz de recuperar estos subproductos que pueden utilizarse subsecuentemente para elaborar otros productos, a la vez que se elaboran productos de mayor valor nutricional y mejor precio.

- En el proceso de producción de gelatina comestible, la ultrafiltración es una tecnología adecuada que permite reemplazar la evaporación al vacío en la primera etapa de concentración, y dependiendo de la carnaza utilizada se mejora las propiedades reológicas de viscosidad y poder gelificante; estas propiedades no solamente determinan el uso y el rendimiento del producto en la industria alimentaria, sino que inciden directamente sobre el precio, dado que a mayores valores de Bloom y de viscosidad en la gelatina comestible, mayor es el precio en el mercado internacional.

- El uso de Ultrafiltración como método de concentración de gelatina tipo B, mejora las propiedades de viscosidad y de Bloom especialmente cuando se utiliza una mezcla 50:50 de carnaza entera y de carnaza desorillo-sebo.

- La aplicabilidad de la tecnología de membranas ha permitido su uso en muchos campos de las ciencias y la industria a saber: en la industria petrolera, la industria de pinturas, la industria láctea y en la purificación de agua, principalmente. Siendo relevante su aporte a la conservación de los recursos no renovables puesto que no requiere de altas temperaturas para su uso. Este tipo de tecnologías plantea retos para la sociedad científica actual teniendo en cuenta la necesidad de generar productos y servicios.

- En Principio, todas las membranas pueden ser consideradas como coladores selectivos que son más permeables para ciertos compuestos que para otros. Esto significa que, en un nivel molecular, en la proximidad directa de la

membrana, ocurre un aumento en la concentración de las moléculas retenidas. Este fenómeno es llamado polarización de concentración.

➤ Las tecnologías de membrana representan una amplia familia de procesos de separación muy diversos. Permiten prever muchas aplicaciones en el procesamiento de zumos de frutas. Para la concentración y la estabilización, presentan un alto potencial sobre los procesos convencionales, especialmente debido a su eficiencia de separación y las condiciones suaves utilizadas para preservar mejor la calidad de las frutas crudas. A través de la modulación de la composición del zumo de fruta o el fraccionamiento de compuestos funcionales, los procesos de membrana también permiten el desarrollo de nuevos productos con bajo consumo de energía y un impacto ambiental limitado.

VII. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Akoum, O.; Chotard-Godsnia, O.; Ding, L.H.; Jaffrin, M.Y. (2003).** Ultrafiltration of low heated and UHT skim miles with shear enhanced vibrating filtration system. *Separation Science and Technology* 38(3):571-589.
- Almecija MC. (2007).** Obtención de lactoferrina bovina mediante ultrafiltración de lactosuero. Tesis Doctoral. Universidad de Granada Dpto. de Ingeniería Química 276 pp
- Ardisson-Korat, A. V.; Rizvi, S. S. H. (2004).** Vatless manufacturing of low-moisture part-skim Mozzarella cheese from highly concentrated skim milk microfiltration retentates. *Journal of Dairy Science* 87 (11): 3601-3613.
- Arroyo, M. (1998).** Inmovilización de enzimas. Fundamentos, métodos y aplicaciones. *Ars Pharmaceutica*, 39(2), 23-39.
- Avalli, A.; Cortellino, G.; Gervasoni, E.; Monti, L.; Carminati, D.; M.; Rampilli, M. (2002).** Prove sperimentali di microfiltrazione del latte di Capra: aspetti compositivi e microbiologici. *Scienza e Tecnica Lattiero-asearia* 53(2):107-120.
- Barbano, D. M; Rudan, M. A ; Tong, P. S. (1987).** Adsorption fouling of polysulfone membranes during whole milk ultrafiltration. *Journal of Dairy Science* 70(1): 102-107.
- Baruah, G. L.; Belfort, G. (2004).** Optimized recovery of monoclonal antibodies from transgenic goat milk by microfiltration. *Biotechnology and Bioengineering* 87(3):274-285.
- Beltran, M. y Marcilla, A. (2012).** Introducción a la química de los polímeros.
- Benito, J., Conesa, A., & Rodríguez, M. (2004).** Membranas cerámicas. Tipos, métodos de obtención y caracterización. *Boletín de la sociedad española del vidrio y cerámica (CSIC)*, 43(5).

- Billmeyer, F. (1984).** Compendium of Thermophysical Property Measurement Methods, Volume 1, Plumen Press, New York (1984).
- Binetti, A., Bailo, N., & Reinheimer, J. (2004).** Aplicaciones de la Microfiltración en la industria láctea. Mundo Lácteo, 10-14. Retrieved from http://www.alimentariaonline.com/apadmin/img/upload/MLC002_microfiltracionWSF.pdf
- Brandsma, R.; Rizvi, S. S. H. (1999).** Depletion of whey proteins and calcium by microfiltration of acidified skim milk prior to cheese making. *Journal of Dairy Science* 82(10): 2063-2069.
- Brans, G.; Schröen, C.G.P.H.; Van Der Sman, R.G.M ; Boom, R.M. (2004).** Membrane fractionation of milk: state of the art and challenges. *Journal of Membrane Science* 243: 263–272.
- Bryony, J.; James; Yan, Jing; Xiao Dong Chen. (2003).** Membrane fouling during filtration of milk: a microstructural study. *Journal of Food Engineering* 60(1): 431–437.
- Clark, S.W. and Parrotta, M.J., (1991).** “Membrane Technologies and Drinking Water. Regulations”. Proceedings of the AWWA Seminar on Membrane Technologies in the Water Industry.
- Cozzano, S. (2009).** Impacto del proceso de microfiltración tangencial sobre los compuestos antioxidantes en jugos de frutas. Santiago: Proyecto PAVUC - Universidad de Chile.
- Cunningham A. (2007).** Diseño de quesos de alto rendimiento mediante tratamientos térmicos especiales. *Rev. Carnilac Industrial* 18(4):4-12.
- Cuperus, F.P., (1990).** PhD Thesis, University of Twente,

- Díaz, A. S. (2008).** Aplicación de la tecnología de membranas de nanofiltración y ósmosis inversa para el tratamiento de disoluciones acuosas de compuestos fenólicos y ácidos carboxílicos. Doctorado, Departamento de Tecnología Química y Ambiental, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, España.
- Díaz, S., C., & Ramírez V, D. (2007).** Ultrafiltración y secado de mucílago de nopal. Tesis de profesional. Instituto Politécnico Nacional México.
- Dornier, M., Belleville, M. P., & Vaillant, F. (2018).** Membrane Technologies for Fruit Juice Processing. In *Fruit Preservation*(pp. 211-248). Springer, New York, NY.
- Drgalic, I.; Tratnik, L. (2004).** Primjena izna_aj mikrofiltracije u mljekarskoj industriji. *Mljekarstvo*
- Eyraud, Ch., (1984).** Summerschool on Membrane Science and Technology, Cadarache, France.
- Fane, A.G., (1994).** An overview of the use of microfiltration for drinking water and waste water treatment. Documento presentado en el Microfiltration Symposium for Water Treatment, Irvine, CA.,
- Guizard, C. (1999).** Universidad de Montpellier, Francia. Referencia: Cuaderno FIRP S451B
- Gutiérrez, H. (2013).** Obtención de derivados lácteos por ultrafiltración. *Alimentaria*, 51-54.
- Ibañez, R. (2007).** Estudio de la ultrafiltración de proteínas modelo con membranas cerámicas. Universidad de Granada, Granada.
- Jacangelo, J.G. et al. (1995).** Mechanism of Cryptosporidium, Giardia, and MS2 Virus Removal by MF and UF. *Journal AWWA*.

- Krstic, D.; Tekic, M.; Caric, M.; Milanovic, S. (2003).** Kenics static mixer as turbulence promoter in cross-flow microfiltration of skim milk. *Separation Science and Technology*. 38(7):1549–1560.
- Li, H-J., y otros seis autores, (2006).** Development and characterization of antifouling cellulose hollow fiber UF membranes for oil-water separation, *J. Membrane Sci.*: 279(1-2), 328-335.
- Maglić, K. D., Cezairliyan, A., Peletsky, V. E., & Peletskiĭ, V. Ė. (Eds.). (1984).** Compendium of thermophysical property measurement methods (Vol. 2). Plenum Publishing Corporation.
- Medina, W. y Maturín, C. (2017).** Distribuciones de velocidad en flujo laminar. Sistemas radiales. Fenómenos de Transporte. <http://www.slideshare.net/asesoracademico/>
- Michaelis, L. (1925).** Contribution to the Theory of Permeability of Membranes for Electrolytes». *The Journal of General Physiology*.
- Montoya, G. A. G. (2013).** Control de una planta piloto para el estudio del comportamiento permeoselectivo de membranas. Tesis de master. Universidad Politecnica de Valencia, España. <http://hdl.handle.net/10251/27540>.
- Mosquera, D. (1999).** Aplicación de la técnica de porosimetría. Resumen. La aplicación de la Porosimetría de Intrusión de Mercurio.
- Mulder, J. (2012).** Basic principles of membrane technology. Springer Science & Business Media.
- Pandolfi, E. (2008).** Aplicación de la tecnología de membranas en el proceso de vinificación., Universidad de Concepción, Santiago.

- Papadatos, A.; Neocleous, M.; Berger, A. M.; Barbano, D. M. (2003).** Economic Feasibility Evaluation of Microfiltration of Milk Prior to Cheesemaking. *Journal of Dairy Science* 86:1564–1577.
- Pedersen PJ, Ottosen N. (1992).** Manufacture of fresh cheese by ultrafiltration. IDF special issue 9201:67-76.
- Reif, O. W. (2006).** Microfiltration membranes: characteristics and manufacturing. In *Sterile Filtration* (pp. 73-103). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Riccomini, M. A.; OH, S. S.; Richardson, T.; Tong, P. S. (1989).** Use of radiolabelled milk proteins to study membrane fouling during ultrafiltration of skim milk. *Journal of Dairy Science* 72(1):175.
- Riquelme, L. (2010).** Desarrollo por ultrafiltración de un concentrado proteico a partir de lactosuero. Tesis de grado Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencia y Tecnología de alimentos. 48 pp.
- Saavedra, A., & Romero, J. (1999).** Aspectos generales sobre procesos y tecnologías de membranas (DOCUMENTO 1). Grupo de procesos de membranas.
- Serna-Cock, L., Velásquez, M., & Ayala, A. A. (2010).** Efecto de la ultrafiltración sobre las propiedades reológicas de gelatina comestible de origen bovino. *Información tecnológica*, 21(6), 91-102.
- Sharma, S. K., Mulvaney, S. J., and Rizvi S. S. H., (2000).** Food process engineering: theory and laboratory experiments. New York, USA: Wiley-Interscience.
- Simón, A., L. Vandanjon, G. Levesque y P. Bourseau, (2002).** Concentration and Desalination of Fish Gelatin by Ultrafiltration and Continuous Diafiltration Processes, *Desalination*. 144(1-3), 313-318

- Simonetti, G. A., & Matos, M. L. Corporativo (2016).** Tesis. UBA. FA, Università degli Studi Di Parma y Facultad de Agronomía. UBA, Alta Dirección en Tecnología de los Alimentos [MITA], Master Internacional en Tecnología de los Alimentos; Tecnología de los Alimentos, 2016. Título: Efectos de los procesos de ultrafiltración y de hidrólisis enzimática sobre las propiedades funcionales del plasma bovino deshidratado. P. imprenta: 100 p., tbs., graf.
- Solanki, G.; Rizvi, S. S. H. (2001).** Physico-chemical properties of skim milk retentates from microfiltration. *Journal of Dairy Science* 84(11): 2381-2391.
- Sorrivas, V. (2014).** Título: "Principios y práctica de la Microscopía Electrónica". 1ra. Edición. Autores: Sorrivas de Lozano, Viviana. Alfonsina Morales. María Julia Yañez Bahía Blanca: E-book.
- Stechina, D., Pauletti, M., Lesa, C., Maffioly, R. H., Bogdanoff, N., & Iribarren, O. (2012).** Concentración de extracto pectínico de limón aplicando ultrafiltración. *Scientia Agropecuaria*, 3(3).
- Strathmann H., (2009).** "A Random Walk through Membrane Science—From Water Desalination and Artificial Kidneys to Fuel Cell Separators and Membrane Reactors," in *Advances in membrane science and technology*, T. Xu, Ed., ed New York, USA: Nova Biomedical Books, pp. 1-20.
- Sutherland K. S. and Chase G. (2008).** *Filters and Filtration Handbook*. Oxford, UK: Elsevier Science.
- Vaillant, F., Pérez, A., & Viquez, F. (2004).** Microfiltración tangencial: una alternativa innovadora para la transformación de frutas tropicales. *La Alimentación Latinoamericana* (252), 38-46.
- Vioque, J., Sánchez Vioque, R., Pedroche, J., Yust, M. D. M., & Millán, F. (2001).** Obtención y aplicaciones de concentrados y aislados proteicos.

Wang, H.M., C.Y. Li, S.J. Chen, T.W. Cheng y T.L. Chen, (2004). Abatement of concentration polarization in ultrafiltration using n-hexadecane/water two-phase flow, *J. Membrane Sci.*: 238(1), 1-7.

Wang, T., Y.Q. Wang, Y. L. Su y Z.Y. Jiang, (2006). Antifouling Ultrafiltration Membrane Composed of Polyethersulfone and Sulfobetaine Copolymer, *J Membrane Sci.*: 280(1-2), 343-350.

ANEXOS

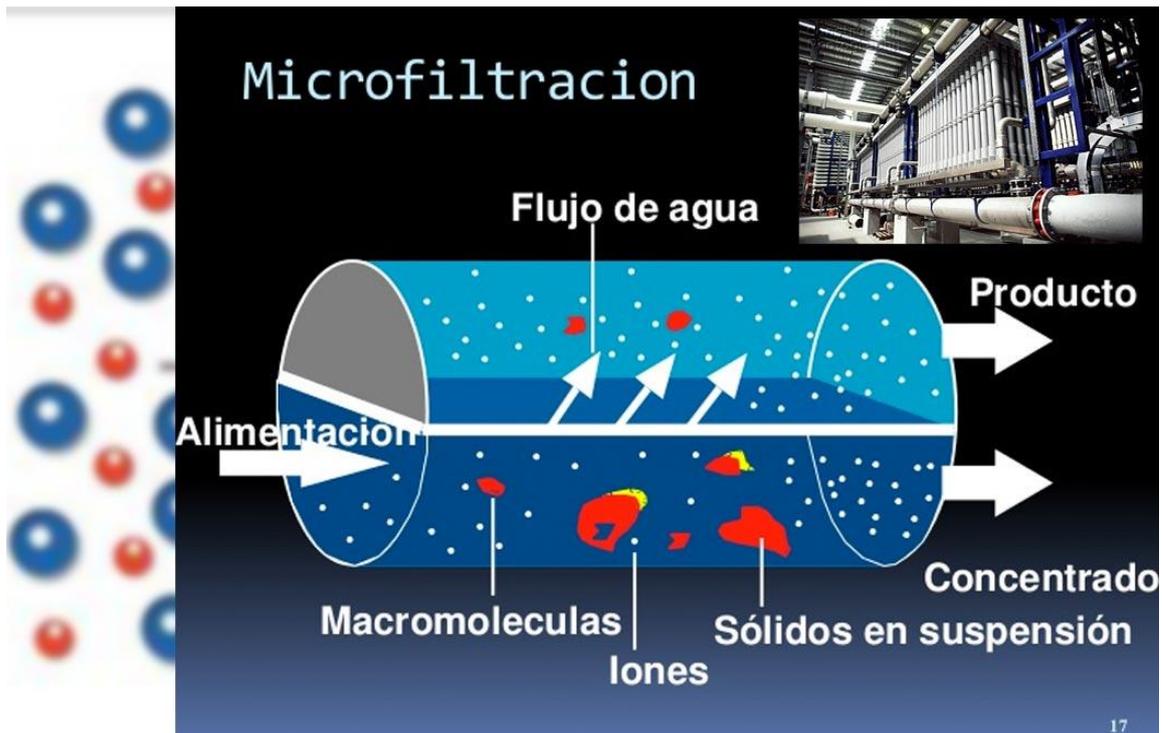
La Filtración con Membrana en Procesos de Alimentos



La evaporación es un método convencional utilizado para la concentración y recuperación en la industria de alimentos. Este es un proceso intensivo de energía ya que los materiales se tienen que calentar para evaporar el exceso de líquido. Como un método alternativo, la filtración por membrana se puede usar cuando se utiliza una membrana permeable y se aplica una fuerza conductora para separar los materiales.

La Ultrafiltración con Membrana en Procesos de Alimentos





Para la microfiltración se necesita de una baja presión de aproximadamente dos bares comparadas con otros procesos de filtración que necesitan más bares (presión); menos base a las técnicas clásicas que se utilizan para tratamientos de potabilización en las ciudades, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección, se han realizado estudios que indican que dichas técnicas no son suficientes para limpiar debidamente el agua de las que sustancias patógenas presentan mayor resistencias a las técnicas clásicas: sustancias orgánicas provenientes del sistema endocrino no son removidas del agua, por ser un proceso a gran escala, la alta cantidad en la inyección de cloro forma subproductos de cloro que tienen efectos nocivos para los consumidores, con la idea de disminuir los productos químicos en el proceso de potabilización y eficiencia en el proceso, la tecnología de microfiltración aparece como la mejor opción debido a que las membranas de microfiltración actúan como una barrera seleccionando sustancias en el agua, en el proceso de microfiltración utiliza la presión como fuerza motriz para pasar el agua a través de la membrana, rechaza macromoléculas de las especies coloidales, teniendo en cuenta que el uso es directamente proporcional a la permeabilidad de la membrana, la que da mayor sustancias retenidas, sobre la membrana dentro de ella, la permeabilidad de ella va disminuyendo sin embargo, recordemos que las membranas para la microfiltración no necesitan mucha presión comparadas con otras siendo rentable su uso la aplicación en procesos a gran escala, existen dos tipos para limpiar la

membranas de microfiltración, por mecanismos básicos y por químicos, cuando se lo va a limpiar la membrana por mecanismos básicos está asociado a ensuciamiento reversible, que es cuando se forma una torta de los componentes retenidos, y estos son removidos con métodos de limpieza mecánicos; los mecanismos químicos se clasifica en ensuciamiento irreversible que se da básicamente por la adsorción o por el depósito de sólidos difíciles de eliminar, como los son los compuestos ornicosendocrinos que para su remoción se necesitan de procesos químicos, añadir Carbón Activado en polvo se logra la reducción de la velocidad de ensuciamiento en la membrana, su ensuciamiento irreversible, optimizando el proceso de microfiltración.