

DESARROLLO POR ULTRAFILTRACIÓN DE UN CONCENTRADO PROTEICO A
PARTIR DE LACTOSUERO

LUIS FELIPE RIQUELME GYIMESY

Universidad Nacional de Colombia
Programa Interfacultades
Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos
Bogotá D.C.
2010

DESARROLLO POR ULTRAFILTRACIÓN DE UN CONCENTRADO PROTEICO A
PARTIR DE LACTOSUERO

LUIS FELIPE RIQUELME GYIMESY

Trabajo de grado como requisito para optar al título de Especialista en Ciencia y
Tecnología de Alimentos

Director
CARLOS FERNANDO NOVOA CASTRO
Profesor Asociado

Universidad Nacional de Colombia
Programa Interfacultades
Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos
Bogotá D.C.
2010

Nota de aceptación:

Firma del Director

Bogotá D.C., Julio de 2010

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS, ICTA, por colocar a disposición sus instalaciones.

A los profesores NESTOR ALGECIRA E., Director del programa de Postgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Al profesor CARLOS NOVOA C., Director del ICTA, por su colaboración y dirección en el desarrollo de este proyecto.

Al Sr. JOSÉ OCAMPO G., de Purificación y Análisis de Fluidos LTDA., por su asesoría y recomendaciones técnicas.

RESUMEN

Esta monografía se centra en la operación de un sistema de ultrafiltración con miras a la obtención de un concentrado proteico a partir del subproducto de la elaboración de quesos: el suero lácteo.

Se propone la metodología de operación del equipo con que cuenta el Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA), el cual mediante unos ajustes, podría entrar en operación en el corto plazo.

Se hace una exhaustiva revisión, de acuerdo a los manuales de operación proveídos por el fabricante, de las condiciones de operación, puesta en marcha, montaje, mantención, limpieza; de los factores que influyen en la concentración de proteínas presentes en el suero de leche, tales como temperatura, flujo, retentado y presión; y de los principios que rigen el ciclo de operación, como la difusividad, densidad y viscosidad, entre otros.

El trabajo incluye además, una escueta revisión de las distintas aplicaciones del sistema alternativos a la concentración de proteínas y que se utilizan ampliamente en la industria de alimentos.

SUMMARY

This paper focuses on the operation of an ultrafiltration system to obtain a protein concentrate from by-product of cheese: whey.

A methodology is proposed to start the operation of this ultrafiltration system that belongs to Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA), what through some adjustments, could come into operation in the short term.

This report offer an exhaustive review, according to the operation manuals provided by the manufacturer, of operating conditions, commissioning, installation, maintenance and cleaning. Furthermore, factors that influence the concentration of proteins present in whey such as temperature, flow, pressure and retentate, and the principles governing the operation cycle, such as diffusivity, density and viscosity, among others.

It also includes a brief review of the different alternative system applications to the protein concentrate that are widely used in the food industry.

CONTENIDO

CONTENIDO	6
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABLAS	9
INTRODUCCIÓN	10
1 MARCO TEÓRICO	11
1.1 Separación por membranas	11
1.2 Definiciones: MF, UF, OI y NF	12
1.3 Proceso de ultrafiltración	13
1.3.1 Dinámica de flujo a través de la membrana	13
1.4 Caracterización de la corriente de alimentación.....	20
1.5 Aplicaciones del sistema de UF	21
1.6 Constituyentes de la leche	22
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	28
2.1 Planteamiento del Problema.....	28
2.2 Justificación	28
3 OBJETIVOS	29
3.1 Objetivo General.....	29
3.2 Objetivos Específicos	29
4 METODOLOGÍA.....	30
4.1 Método.....	30
5 RESULTADOS.....	31
5.1 Consideraciones.....	31

5.2	Instalación de la membrana en módulo de UF	31
5.3	Procedimiento de tensado	33
5.4	Ensamblado del equipo.....	34
5.5	Puesta en marcha	36
5.6	Diagrama de flujo del proceso	44
6	BIBLIOGRAFÍA	46
7	CIBERGRAFÍA	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Microfotografía de membrana orgánica.	11
Figura 2 Esquema del proceso.....	14
Figura 3 Fenómeno de osmosis inversa.	15
Figura 4 Montaje del cassette soporte de membrana.	17
Figura 5 Variación del flujo con respecto a la presión del sistema.	18
Figura 6 Variación del flujo con respecto a concentración de soluto.	18
Figura 7 Variación del flujo con respecto a la temperatura.....	19
Figura 8 Variación del flujo con respecto a la presión transmembrana con tres regiones características; I, II y III.....	19
Figura 9 Ensamblaje del cassette del sistema de UF.	32
Figura 10 Ensamblaje de soporte superior.	32
Figura 11 Llave de torque Millipore.....	33
Figura 12 Secuencia de tensado de cassette.....	34
Figura 13 Propuesta de configuración del sistema de ultrafiltración de suero.	35
Figura 14 Diagrama de flujo del proceso de ultrafiltración.	44

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Características de los procesos de membrana.....	12
Tabla 2 Coeficiente de difusividad para distintas moléculas.	21
Tabla 3 Constituyentes de la leche de distinto tipo.	23
Tabla 4 Distribución de sustancias nitrogenadas en la leche de vaca.	24
Tabla 5 Clasificación del suero.....	25
Tabla 6 Constituyentes del suero en polvo.	25
Tabla 7 Peso molecular y punto isoelectrico de las proteínas del suero de leche de vaca.	26
Tabla 8 Etapas de mantenimiento del sistema de UF.	36
Tabla 9 Clasificación de los agentes de limpieza.	38
Tabla 10 Calidad del agua sugerida por Millipore para operaciones de limpieza.	41

INTRODUCCIÓN

Las técnicas de separación con membranas permiten concentrar y separar diversos productos y subproductos de soluciones concentradas a temperatura ambiente compitiendo económicamente con otras técnicas convencionales.

En la industria láctea están siendo utilizados diferentes procesos con membranas que permiten obtener cargas de contaminación menos elevadas en los efluentes, beneficios económicos en la recuperación de proteínas y otros componentes, e incluso la recuperación del agua del suero de la leche para su reutilización en el consumo directo (Serna, 1996).

En la actualidad existen diferentes procesos que emplean diferentes tipos de membranas y que se pueden clasificar según el tamaño de poro de la misma.

El sistema de ultrafiltración consiste en una corriente de alimentación que es introducida en un arreglo de módulos. El agua y los solutos de bajo peso molecular pasan a través de la membrana y son removidos como “permeado”. Los solutos de alto peso molecular y sólidos suspendidos son retenidos por la membrana y finalmente removidos como “concentrado” (Díaz y cols., 2004; Rinaldoni, 2009).

En la actualidad el suero se utiliza para la alimentación de cerdos y otros animales de ganado, como suplementación para la fabricación de pan, como suplemento en la elaboración de alimentos para infantes o ancianos. El precipitado de albúminas y globulinas como aditivo alimentario y también como preparados cosméticos, entre muchos otros usos (Scott, 1991).

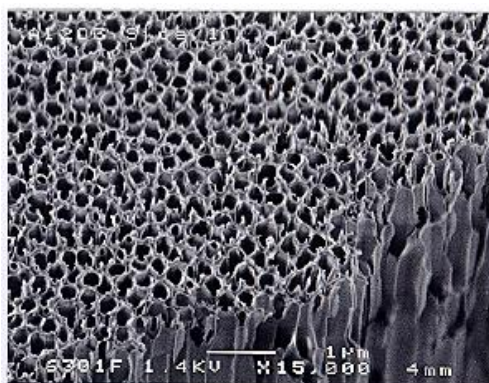
1 MARCO TEÓRICO

1.1 Separación por membranas

La filtración es definida como la separación de dos o más componentes de una corriente. La filtración por membrana extiende esta aplicación a la separación de solutos disueltos en corrientes líquidas y a la separación de corrientes gaseosas (Sharma, 2000).

La permeabilidad y selectividad de las membranas puede ser controlada durante el proceso de fabricación. Las membranas son preparadas por diferentes métodos patentados, a partir de acetato de celulosa, poliolefina, poliacrilonitrilo, cloruro de polivinilo o fibra de vidrio y luego soportado por un material rígido y más poroso (Garavito, 1995).

Figura 1 Microfotografía de membrana orgánica.



Fuente: Gelman Science, Anopore™

La separación en procesos con membrana es el resultado de diferencias en la velocidad de transporte de las especies químicas a través de ella. La velocidad de transporte depende de la fuerza motriz, así como de la resistencia ejercida por la membrana, factores que dependen a su vez de las condiciones de operación del sistema y de las propiedades de membrana (Kieran, 2003), así como también de surfactantes o coagulantes para facilitar agregación de partículas (Narong, 2008).

El proceso de separación por membrana resulta ventajoso porque presenta poco deterioro sobre los componentes que conforman el sistema y cuando los métodos tradicionales de separación no resultan económicamente factibles (Gillies, 1974; Razavi, 2003).

Entre las desventajas del proceso, se pueden encontrar: posible descomposición microbiana de la membrana (vida útil de la membrana afecta enormemente el costo), descenso de la permeabilidad en el tiempo y uso de gomas limpiadores inadecuados, los cuales deben ser libres de hierro y sílica (Kazemimoghadam, 2007).

1.2 Definiciones: MF, UF, OI y NF

Existe confusión, inclusive en la literatura, a las distinciones y características entre microfiltración (MF), ultrafiltración (UF), osmosis inversa (OI) y nanofiltración (NF). Como ejemplo de lo anterior, UF ha sido referida a procesos de MF y OI e incluso ha recibido el nombre de “hiperfiltración”.

La definición más útil para estos procesos se ha basado en el tamaño de partículas que pueden retener durante un determinado proceso. De acuerdo a ello, cada proceso se define por el tamaño de poro o por el peso molecular de corte como se muestra en la tabla 1 (Rodríguez, 1997).

Tabla 1 Características de los procesos de membrana.

PROCESO	PM DE CORTE (Da)	FLUJO DE PERMEADO (l/h m ²)
MF	≥ 200.000	≥ 300
UF	1.000 – 200.000	30 – 300
OI	100 – 150	6 – 10
NF	300 – 1,00	-

Fuente: Rodríguez, 1997.

Dada su aplicación, este trabajo se concentrará en definir y caracterizar el proceso de ultrafiltración.

La ultrafiltración (UF) es una técnica de filtración mediante membranas cuyo objetivo es la separación o concentración de componentes desde una solución, mediante el paso forzado de ésta a través de una membrana porosa, la cual permite o impide el paso de sustancias de acuerdo a su tamaño o peso molecular, siendo la fuerza motora del proceso la diferencia de presión a ambos lados del medio filtrante (Toledo, 1991).

Se estableció desde 1981 como el proceso principal para la concentración de suero. Los factores que hacen de la ultrafiltración el proceso preferido son: desarrollo de membranas robustas, sintéticas, de fácil limpieza y con propiedades uniformes;

desarrollo de equipos que permiten operación continua; bajos costos de operación; bajos costos de producción para los productos, entre otros (Klinkowski, 1983).

1.3 Proceso de ultrafiltración

Funcionalmente, la ultrafiltración recuerda la filtración tradicional con la salvedad de la dimensión de escala de separación. En este proceso, el flujo atraviesa paralelamente la superficie de la membrana. Este flujo característico difiere del flujo perpendicular de la filtración ordinaria. En ésta última, la torta de filtrado crece sobre la superficie, requiriendo frecuente reemplazo o lavado del medio filtrante (Gillies, 1974). En la ultrafiltración el mismo flujo previene el crecimiento de dicha torta. Así la filtración produce un filtrado y un sólido o semisólido; mientras que los productos de la ultrafiltración son dos fases líquidas: una agotada en soluto "ultrafiltrado" y una enriquecida en soluto "retenido" (Garavito, 1995).

1.3.1 Dinámica de flujo a través de la membrana

Las sustancias se mueven a través de la membrana por diversos mecanismos. Para membranas porosas, la difusión de Fick, asumiendo algunas condiciones de acuerdo al tipo de membrana, rige el transporte de sustancias en un gradiente del potencial químico como se muestra:

$$N_i = -D_i C \frac{d(\mu_i/RT)}{dx}$$

- N_i : Masa del componente i transportado ($\text{kmol}/\text{m}^2 \text{ s}$)
- D_i : Difusividad del componente i (m^2/s)
- C : Concentración (kmol/m^3)
- μ : Potencial químico de la sustancia que difunde ($\text{J}/\text{kmol K}$)
- R : Constante de los gases
- T : Temperatura del proceso (K)
- x : Distancia (m)

En la mayoría de los casos, los coeficientes de actividad están próximos a 1, y la primera Ley de Fick se escribe como:

$$N_i = -D_i \frac{dC_i}{dx}$$

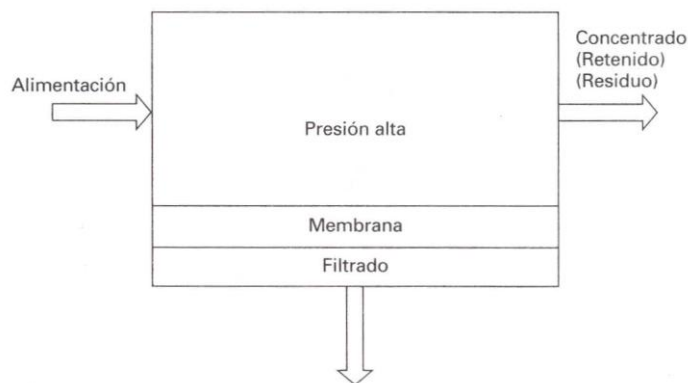
Considerando D constante, y en particular que es independiente de C , y que las concentraciones en las fases fluidas están en equilibrio con la membrana, la Ley de Fick puede escribirse como:

$$N_i = -D_i \frac{(C_f - C_p)}{z} = D_i \frac{\Delta C}{z}$$

- z : Espesor de la capa de membrana
- C_f : Concentración de la alimentación
- C_p : Concentración del filtrado

La concentración de un componente en la fase de membrana será extremadamente diferente de su concentración en la fase de fluido aunque estén en equilibrio.

Figura 2 Esquema del proceso.



Fuente: Perry, 2001.

1.3.2 Fisicoquímica del proceso

Todas las relaciones termodinámicas usadas para correlacionar las propiedades fisicoquímicas de un sistema con parámetros termodinámicos se derivan de la ecuación de energía libre de Gibbs, la cual en su forma más simple se expresa como:

$$G = H - TS$$

$$H = E + P$$

Donde

G = Energía libre de Gibbs;	H = Entalpía
T = Temperatura absoluta;	S = Entropía
E = Energía interna;	P = Presión
V = Volumen	

En forma diferencial, estas ecuaciones pueden ser escritas como:

$$dG = dE + PdV + VdP - TdS - SdT$$

Combinando esta ecuación con la primera ley de la termodinámica se obtiene:

$$dG = VdP - SdT$$

Para sistemas abiertos, en los cuales materia y energía pueden entrar y salir, la ecuación anterior debe ser modificada por adición de términos relativos a los cambios en la masa del sistema. La ecuación se convierte entonces:

$$dG = VdP - SdT + \sum \mu_i dn_i$$

Donde: μ = Potencial químico del componente
 n = Número de moles del componente
 i = Denota el i ésimo componente

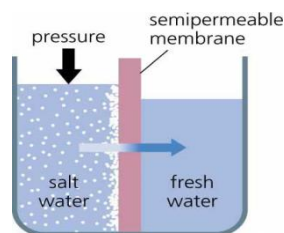
Así, por definición:

$$\mu_i = \left(\frac{\delta G}{\delta n_i} \right)_{T, P, n_j}$$

Donde i denota el componente de interés y j denota todos los demás componentes.

El potencial químico en términos simples es esencialmente una fuerza conductora expresada como un cambio en la energía libre del sistema como resultado de una modificación en la composición del mismo (Garavito, 1995).

Figura 3 Fenómeno de osmosis inversa.



Fuente: <http://www.opex-energy.com>

1.3.3 Conceptos Básicos

Porosidad de membrana: las membranas de separación presentan una amplia gama de porosidad. Las membranas de separación de gas poliméricas y metálicas, las membranas de pervaporación y las de ósmosis inversa no son porosas, aun que hay una prolongada controversia sobre la no porosidad de la última. Las membranas porosas se usan para MF y UF.

Peso molecular de corte: es el mejor método conocido para la caracterización de membranas de UF. El concepto de peso molecular de corte, es poderoso y engañosamente simple. La definición aceptada corresponde a la masa molecular de la proteína que es retenida en un 90%.

Difusión de una solución: la masa pasa a través de las membranas no porosas por conducción iónica (electrodiálisis) o por disolución en la membrana, teniendo lugar la difusión a través de la membrana en respuesta a un gradiente de potencial químico, que puede ser un cambio en la concentración de la presión del vapor o un potencial eléctrico.

Poros: También las membranas porosas pueden dar elevada selectividad. Las membranas de MF y UF son claramente porosas, sus poros oscilan de un tamaño de 3 nm a 3 μm. Las membranas de NF tienen poros más pequeños.

Factor de separación: el factor de separación α se define consistente con otros métodos de separación. Es importante recalcar que en las membranas, α es el resultado de las velocidades diferentes y que no tiene implicaciones de equilibrio. La convención en las separaciones por membrana es definir la separación de modo que $\alpha > 1$.

$$A = (C_i / C_j)_p / (C_i / C_j)_f$$

Retención: éste término se utiliza en MF y UF.

$$R = 1 - (C_p / C_f)$$

Donde C es la concentración de materia que está siendo retenida.

Por convenio, C_f se mide en la alimentación masiva y no en la membrana. Claramente, la concentración en la membrana es la importante, pero la convención está muy establecida y simplifica los cálculos del rendimiento y del balance de materia.

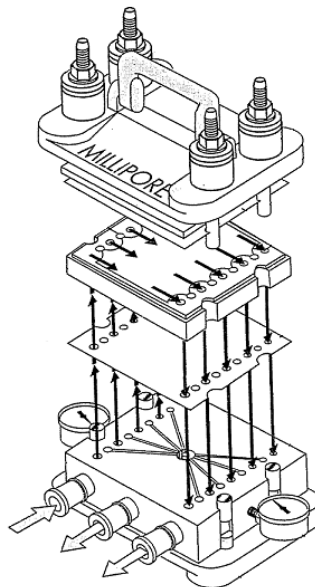
Flujo transversal: la mayor parte de los procesos de membrana se operan con flujo transversal. En este tipo de flujo, el concentrado retenido pasa paralelamente a la membrana de separación, a una velocidad que a menudo es de un orden o magnitud más alto que la velocidad de la corriente que pasa a través de la membrana.

Flujo: es el término empleado para describir la rapidez con la que un producto pasa a través de una membrana. Una velocidad expresada como volumen/área tiempo, no tiene en cuenta el espesor de la membrana. El flujo es específico para la membrana, la aplicación, las condiciones de operación y normalmente el tiempo.

Suciedad: el flujo se reduce con el tiempo en la mayor parte de las operaciones de membranas. Una reducción de hasta un 80% del rendimiento inicial puede tardar minutos o meses. La causa principal de este fenómeno es la suciedad, definida como una reducción irreversible en el rendimiento, resultante de la interacción con componentes de la alimentación. La limpieza es una vía común de restauración de gran parte o toda la producción inicial de la membrana obstruida por la suciedad. Algunas formas de suciedad son permanentes, como por ejemplo, las que cambian la estructura de la membrana.

Cassette: es un dispositivo de placa y estructura favorecido por la facilidad de escalado a partir del laboratorio a pequeñas plantas. Es el sostenedor del sistema de UF.

Figura 4 Montaje del cassette soporte de membrana.



Fuente: Millipore Corporation, 2000.

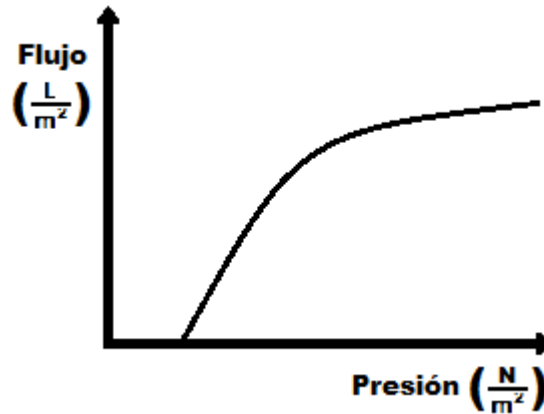
1.3.4 Relación entre variables durante el proceso

De acuerdo con lo planteado en la sección 1.3.1., existe relación entre las variables que gobiernan el proceso: flujo, presión intramembrana (sistema), concentración de soluto y temperatura.

- Variación del flujo de acuerdo a la presión:

El flujo aumenta con el incremento en la presión del sistema. Pero cuando la presión osmótica es igual a la presión aplicada al sistema, no se obtendrá flujo (Fig. 5).

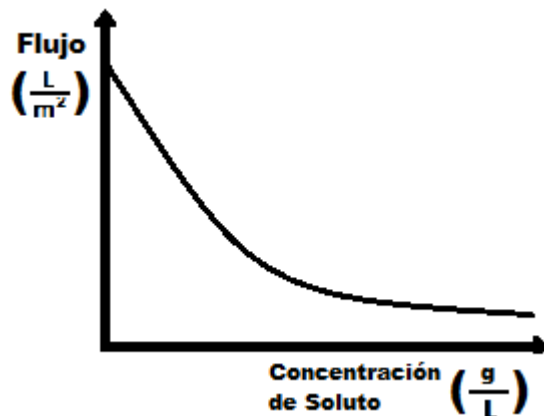
Figura 5 Variación del flujo con respecto a la presión del sistema.



- Variación del flujo de acuerdo a concentración del soluto:

El flujo decrece a altas concentraciones de soluto a causa de la presión osmótica (Fig. 6).

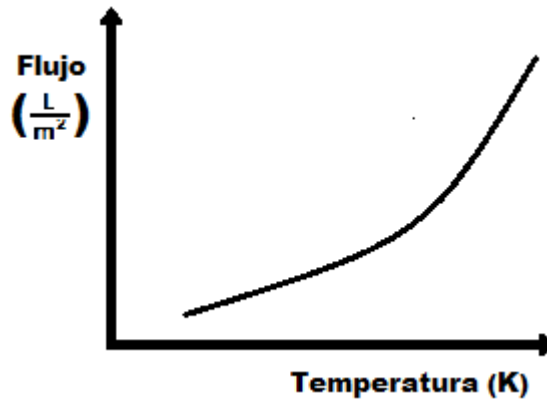
Figura 6 Variación del flujo con respecto a concentración de soluto.



- Variación del flujo de acuerdo a la temperatura:

El uso de altas temperaturas aumenta la permeabilidad de la membrana, disminuyendo su selectividad y aumentando el flujo (Fig. 7).

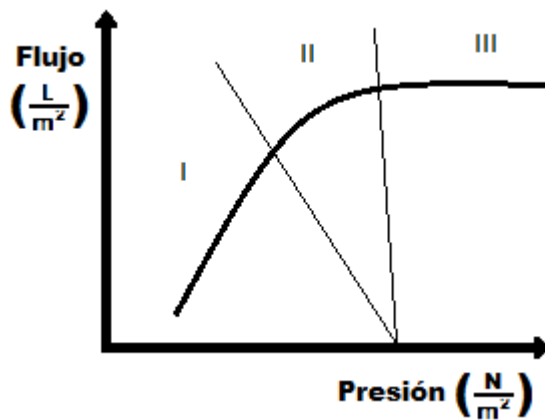
Figura 7 Variación del flujo con respecto a la temperatura.



1.3.5. Limitaciones del proceso

Una de las limitaciones del sistema de UF es el fenómeno de “polarización de la concentración”.

Figura 8 Variación del flujo con respecto a la presión transmembrana con tres regiones características; I, II y III.



Al incrementar la presión se incrementa el flujo en una relación lineal con respecto a la presión, como se muestra en la región I de la figura 8, pero también aumenta la concentración de macromoléculas en la superficie de la membrana. Este proceso de acumulación continuará hasta que la capa de macromoléculas comience a obstaculizar el flujo a través de la membrana. En esta etapa, descrita en la región II de la figura 8, el incremento en la presión causa, al igual que en la región I, un aumento decreciente del flujo. La capa de macromolécula que está adsorbida en la superficie de la membrana forma un gel. En este punto la resistencia de la membrana llega a ser el factor limitante en el flujo y un incremento importante en la presión no provoca cambios en el flujo y ambas variables son ahora independientes, como se muestra en la región III de la

figura 8. El fenómeno descrito se conoce como polarización de la concentración (Perry, 2001).

1.4 Caracterización de la corriente de alimentación

Las propiedades físicas del fluido pueden variar a través del proceso ya que la concentración y turbulencia del sistema también están cambiando. Dentro de las propiedades del fluido a destacar cuentan la densidad, viscosidad y difusividad. Las anteriores deben ser cuantificadas antes de iniciar el proceso de UF.

1.4.1 Densidad

Es un parámetro fácilmente determinable mediante la utilización de picnómetros. Dado que la mayoría de las corrientes a filtrar son diluidas, su densidad es bastante similar a la del agua.

1.4.2 Viscosidad

La viscosidad se define en términos de esfuerzos cortantes (τ) y velocidades cortantes (Γ) y de acuerdo a si presentan comportamiento Newtoniano o no Newtonianos.

Para fluidos Newtonianos: $\eta = \frac{\tau}{\Gamma}$

Para fluidos no Newtonianos: $\tau = K\Gamma^\eta$

1.4.3 Difusividad

La viscosidad y la densidad son relativamente fáciles de determinar o estimar, mientras que el coeficiente de difusión no resulta tan simple.

Los datos de difusividad son escasos en literatura, sobre todo en función de temperatura o concentración. Se han formulado diversas ecuaciones sin buenos resultados. En la tabla siguiente se muestran algunos coeficientes de difusión.

Tabla 2 Coeficiente de difusividad para distintas moléculas.

MOLÉCULA	PESO MOLECULAR (Da)	TEMPERATURA (°C)	DIFUSIVIDAD *10 ⁷ (cm ² /s)
Albúmina, suero humano	69.000	20	6,43
α-Lactalbúmina	16.000	25	7,4
β-Lactoglobulina	18.000	25	6,4
Caseína	24.000	25	1,9
Colágeno	345.000	20	1,16
ADN	6.000.000	20	0,13
Fibrinógeno humano	339.700	20	2,98
Inmunoglobulina humano	G, 153.000	20	4,11
Miosina	493.000	20	1,16
Ovalbúmina	43.500	25	7,6
Tripsina, bovino	15.100	20	10,09

Fuente: Cheryan, 1986.

1.5 Aplicaciones del sistema de UF

Numerosas publicaciones describen las diversas aplicaciones que el proceso de UF tiene lugar dentro de la industria. Se puede mencionar la separación y fraccionamiento de proteínas, eliminación de cenizas en lácteos y bebidas en general, clarificación de vinos y jugos y concentración de productos, además del tratamiento y purificación de aguas. A continuación se describen algunas aplicaciones menos tradicionales.

1.5.1 Granos

Para procesos de molienda de granos húmedos, donde es necesario recuperar las sustancias disueltas en el agua de desecho, y que por lo demás, poseen un alto valor nutritivo. El producto obtenido de la purificación y concentración del agua se expende como alimento y suplemento para alimentación animal.

1.5.2 Concentración y fraccionamiento

La concentración y fraccionamiento de la leche antes y después de la producción de quesos permite controlar y suministrar determinados nutrientes a los quesos producidos. Un fraccionamiento de la leche antes de la producción de quesos, permite incorporar determinadas proteínas, lactosa y/o cenizas al queso, otorgándole características nutricionales distintivas al producto. Este mismo proceso aplicado al suero de leche después de la producción de quesos permite al productor recuperar una fracción importante de proteínas y al mismo tiempo eliminar los desechos sin atentar contra el medio ambiente.

1.5.3 Carne

Algunas procesadoras de carne, incorporan dentro de la manufactura del producto agua tibia para el lavado de canales. Ésta agua, una vez cumplida la función, es desechada. El proceso de UF permite reutilizar esta agua de desecho con el respectivo ahorro del coste que implica elevar la temperatura y utilizar agua de la red.

1.5.4 Pescados

En Minnesota, una compañía procesadora de pescado, descongela el pescado proveniente de diversos lugares del país y luego lo remoja en salmuera antes del proceso principal de ahumado. La salmuera, que después del proceso contenía aceites y proteínas del pescado, era descartada al alcantarillado. Dado el elevado contenido de sal y otros disueltos, era altamente contaminante. Mediante UF, se logró recuperar la proteína, el aceite y reducir el contenido de sal, obteniendo un agua óptima para el descargue al alcantarillado.

1.5.5 Concentración de gelatina

Se incorporó al final del proceso de elaboración de gelatina, un sistema de membranas que permitió recuperar la gelatina de los residuos de extracción. Lamentablemente, era tal la cantidad del producto de interés que se estaba desechando que la membrana se taponeaba continuamente elevando los costes por este concepto. La incorporación del mismo sistema de membranas, pero en sitios intermedios del proceso, logró un aumento en la recuperación de gelatina y un respectivo incremento en la producción.

1.6 Constituyentes de la leche

Los constituyentes de la leche de vaca, oveja y cabra se encuentran representados en la siguiente tabla para su comparación:

Tabla 3 Constituyentes de la leche de distinto tipo.

	Vaca (%p/p)	Oveja (%p/p)	Cabra (%p/p)
Grasa	3,4	8,0	3,5
Proteína	3,1	7,0	3,6
Lactosa	4,6	5,0	7,5
Cenizas	0,7	0,7	0,8

Fuente: Mahaut, 2004.

Además, posee pequeñas cantidades de lecitina, colesterol, colorantes, vitaminas (A, B, B₂, C, D, E), enzimas y gases disueltos. Dentro de las proteínas que conforman la leche, la que se encuentra en mayor abundancia es la caseína, luego la lactalbúmina y en menor proporción la lactoglobulina, entre otras (Mahaut, 2004). La distribución de las principales sustancias nitrogenadas en la leche de vaca se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 4 Distribución de sustancias nitrogenadas en la leche de vaca.

	PROPORCIONES MEDIAS	
	g/l	Relativas
Prótidos Totales	32	100
I. Proteínas		
A. Caseína Isoeléctrica	25	78 / 100
a. Caseína α_{s1}	9,0	36
b. Caseína α_{s2}	2,5	10
c. Caseína β	8,5	34
d. Caseína κ	3,2	13
e. Caseína $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$	1,75	7
B. Proteínas del Suero	5,4	17 / 100
B1. Albúminas		
a. β -lactoglobulina	2,7	50
b. α -lactalbúmina	1,2	22
c. Seroalbúmina	0,25	5
B2. Globulinas Inmunes	0,65	12
B3. Proteasas-peptonas	0,6	10
II. Sustancias Nitrogenadas No Protéicas	1,6	5

Fuente: Walstra, 2001.

1.6.1 Lactosuero

El suero es un líquido opaco, amarillento y permanece en la cuba del queso en seguida de la separación de la cuajada del líquido cuando se convierte leche en queso. La proteína y la grasa en el suero es recuperada comercialmente por ultrafiltración, ya que estas moléculas, en virtud de su tamaño, son retenidas por la membrana mientras que la lactosa y las cenizas pasan a través del medio filtrante al permeato (Yee, 2007).

Las propiedades del suero de leche son las siguientes:

Conductividad térmica (Kcal/mhr):	20°C = 0.465 80°C = 0.551
Viscosidad a 20°C:	1.2 centipoise

La proteína del suero de leche es primordialmente la β -lactoglobulina y α -lactalbúmina, las cuales comprenden el 50 y 20% respectivamente. El resto de las proteínas presentes en menor cantidad son la seroalbúmina, inmunoglobulina, lactoferrina, lactoperoxidasa, entre otras. El suero dulce, contiene además caseinomacropéptido, la cual es liberada durante la hidrólisis de la κ -caseína provocada por la renina (Metsamuuronen, 2009).

En la tabla 5 se muestra la clasificación del suero de acuerdo a su acidez total o su contenido de ácido láctico; en la tabla 6, los constituyentes del suero en polvo.

Tabla 5 Clasificación del suero.

Tipo	Acidez Titulable (%p/v)	pH
Dulce	0,1-0,2	5,8-6,6
Medio Ácido	0,2-0,4	5,0-5,8
Ácido	0,4-0,6	4,0-5,0

Fuente: Garavito, 1995.

Tabla 6 Constituyentes del suero en polvo.

Constituyente	% en Suero Dulce Seco	% en Suero Ácido Seco
Proteína	12,9	12,5
Lactosa	73,5	65
Grasas	1,1	0,8
Minerales	8,0	10,5
Humedad	4,5	4,0

Fuente: Walstra, 2001.

La tabla 7 muestra en contenido de proteínas del suero de leche de vaca presentes en mayor cantidad en el suero dulce.

Tabla 7 Peso molecular y punto isoeléctrico de las proteínas del suero de leche de vaca.

Proteína	Masa Molar (kDa)	Punto Isoeléctrico
β-lactoglobulina	18,4	5,2
α-lactalbúmina	14,1	4,5-4,8
Inmunoglobulina	150-1.000	5,5-8,3
Seroalbúmina	66	4,7-4,9
Lactoferrina	78	9,0
Lactoperoxidasa	89	9,5
Caseinomacropéptido	7	-

Fuente: Metsamuuronen, 1995.

1.6.2 Proteínas del suero

- **β -lactoglobulina.** Es la mayor proteína del suero, insoluble en agua, soluble en solución salina diluida y precipita en presencia de sulfato de magnesio o de amonio en medio saturado.

Se clasifica dentro de las albúminas debido a su gran solubilidad, relativo bajo peso molecular, movilidad electroforética y su naturaleza holoprotéica. El peso molecular de un monómero alcanza los 18.360 Da.

Esta proteína se encuentra formada por una sola cadena peptídica de 162 restos de aminoácidos. La cadena se repliega sobre si misma por acción de dos puentes S-S, asegurando la estructura terciaria y quedando un grupo sulfhidrilo libre.

- **α -lactalbúmina.** También clasificada dentro de las albúminas, esta proteína parece estar presente en la leche de todos los mamíferos, lo que la hace característica de del suero lácteo. Es una proteína cuyo peso molecular alcanza los 14.200 Da aproximadamente.

- **Inmunoglobulinas.** En la leche son las mayores moléculas encontradas y tienen la propiedad de transmitir inmunidad. Su peso molecular es de aproximadamente 180.000 Da y son las más sensibles a la desnaturalización por temperatura.

- **Seroalbúmina.** Es similar a la seroalbúmina sanguínea. Presenta el mismo peso molecular de 69.000 Da, la misma composición en aminoácidos y la misma cinética de

desnaturalización. Está conformada por una única cadena peptídica con varios repliegues que se estabilizan por puentes disulfuro (Walstra, 2001).

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

2.1 Planteamiento del Problema

Tradicionalmente, los productores de queso han considerado el suero, producto de la elaboración de queso, como un desecho. Una fracción de éste era utilizada como alimentos para animales y el restante era vertido al mar, ríos, canteras, etc. Las modernas medidas tendientes a paliar la contaminación impiden la utilización de ríos, torrentes e incluso alcantarillado doméstico como lugar de vertido por la alta Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y las consecuencias que eso genera (Scott, 1991).

2.2 Justificación

Durante la fabricación de quesos, se genera una gran cantidad de suero, equivalente al 83% del volumen de leche total empleada. Se ha tomado conciencia del elevado valor nutritivo del suero de leche de vaca, tanto para el hombre como para los animales, lo que ha motivado la investigación para el descubrimiento de nuevos métodos de aprovechamiento.

La ultrafiltración otorga la oportunidad de concentrar las proteínas provenientes del suero, brindarle valor agregado y funcionalidad, y utilizar el concentrado proteico en la formulación de diversos alimentos. De esta manera, el estudio sugiere un sistema que permite aprovechar el subproducto y generar beneficios para los grandes y pequeños productores.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Establecer los parámetros para obtener un concentrado proteico a partir de lactosuero de queso, por separación con membrana y con miras a ser utilizado en la formulación de alimentos.

3.2 Objetivos Específicos

3.2.1.- Caracterizar la materia prima.

3.2.2.- Determinar las condiciones de trabajo para la utilización del sistema de ultrafiltración.

3.2.3.- Establecer los parámetros del proceso de ultrafiltración.

4 METODOLOGÍA

El proyecto se basó en un modelo teórico que busca determinar las óptimas condiciones de trabajo del sistema, fijando las variables involucradas en el proceso y caracterizando el concentrado proteico obtenido.

4.1 Método

- La primera etapa del estudio consiste en la puesta a punto del equipo, siguiendo las recomendaciones y especificaciones del proveedor de membranas.
- Caracterización de la materia prima en términos de contenido proteico, humedad, grasa, acidez titulable y pH.
- Determinar las condiciones de trabajo: temperatura, flujo y presiones de entrada y salida del sistema, así como también transmembrana.

5 RESULTADOS

5.1 Consideraciones

Antes de proceder al montaje del cassette soporte de membrana, es necesario reunir las herramientas necesarias para esta operación y una vez retirado el empaque protector de la membrana, ésta no se debe tocar ni dejar secar.

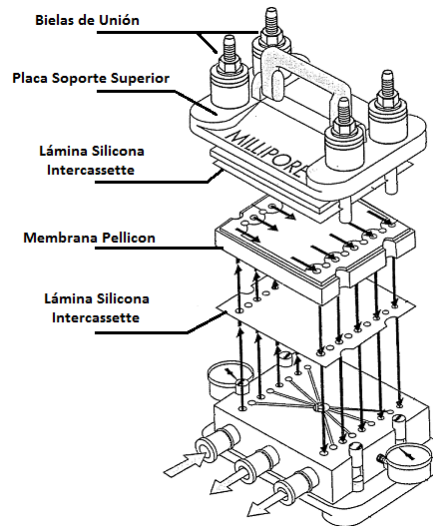
A continuación se describen las piezas y partes a configurar:

- 1 cassette, cód. UNAL 2083212 (todas las partes y piezas bajo el mismo código).
- 2 manómetros (entra y salida) integrados en cassette.
- 1 membrana, marca Millipore Pellicon 2 cassette filter, PLCTK 30 kD, material celulosa regenerada.
- 3 mangueras de caucho.
- 1 válvula de paso plástica, 150 psi.
- 3 abrazaderas metálicas para ensamblaje.
- 1 válvula ahorque metálica.
- 1 bomba Easy Load Master Flex Millipore, serie M96003278, voltaje 115 VAC, 50/60 MHz, 3 amp y capacidad de 100-650 RPM.
- 1 flujómetro Millipore, 1,8 a 18 LPM, Pellicon para retentado.
- 1 flujómetro Millipore 0,4 a 4 LPM, Pellicon para permeado.

5.2 Instalación de la membrana en módulo de UF

- a) Inspeccionar visualmente el cassette para verificar que no se presenten imperfecciones antes de comenzar la instalación. Es importante revisar que los hilos de ajuste interior de tuercas, pernos y de las 4 bielas de unión soporte no estén dañados. Las tuercas deben girar libremente al ser encajadas en las barras de soporte.
- b) Remover el plástico protector de la membrana de ambos lados del asentamiento de las juntas. Colocar una lámina de silicona intercassete sobre la parte inferior de la placa de soporte (figura 9).
- c) Ensamblar la membrana Pellicon a continuación de la lámina de silicona intercassete encajándola en los agujeros en las bielas de unión. Sobre ella, colocar una segunda lámina de silicona intercassete (figura 9).
- d) Cuidadosamente, instalar la placa de soporte superior mirando hacia abajo del sistema y con la manilla mirando hacia arriba (figura 9).

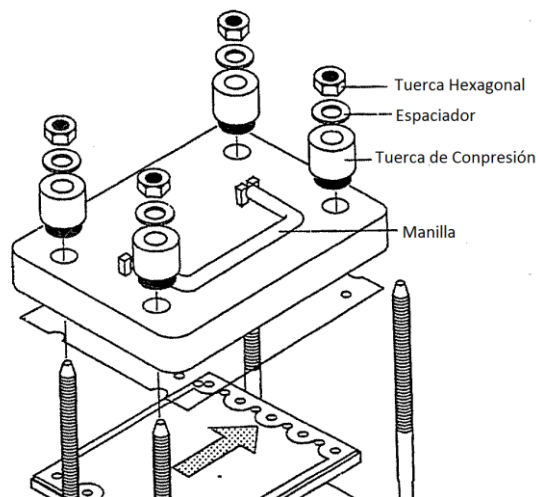
Figura 9 Ensamblaje del cassette del sistema de UF.



Fuente: adaptado de Millipore Corporation, 2000.

- e) Ensamblar por la parte superior, girar suavemente y en el orden que se indica y como muestra la figura 10:
1. Tuerca de compresión
 2. Espaciador
 3. Arandela (si es necesario)
 4. Tuerca hexagonal

Figura 10 Ensamblaje de soporte superior.



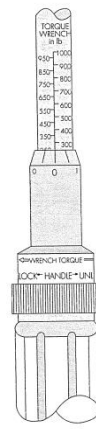
Fuente: adaptado de Millipore Corporation, 2000.

- f) Girar y apretar con las manos las tuercas descritas en el punto anterior de manera diagonal y simétrica y en el mismo sentido del torque.

5.3 Procedimiento de tensado

En esta etapa se hace necesaria una llave de torque y una copa hexagonal de 15/16 pulgadas (figura 11).

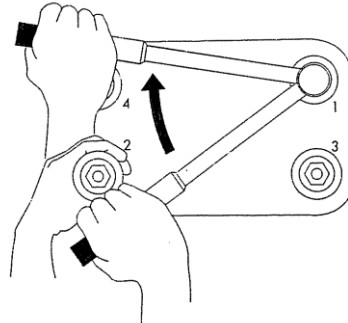
Figura 11 Llave de torque Millipore.



Fuente: adaptado de Millipore Corporation, 2000.

- Ajustar el torque en la llave a 40-45 Nm (350-400 in-lb).
- Inicialmente, girar cada tuerca en la secuencia señalada en $\frac{1}{2}$ ó $\frac{3}{4}$ de giro.
- A medida que se torna más duro el ajuste, aplique de $\frac{1}{8}$ a $\frac{1}{4}$ de giro en la misma secuencia señalada.
- Luego que cada tuerca ha sido ajustada al torque programado espere entre 5 y 10 minutos. Es importante esperar ese tiempo para que el material se ajuste.
- Nuevamente ajuste el torque en la llave a la magnitud señalada en a) y repita la operación.
- Ahora, apriete nuevamente las tuercas del sistema, pero esta vez ajuste el torque de la llave a un valor que no supere los 62 Nm (550 in-lb).

Figura 12 Secuencia de tensado de cassette.



Fuente: adaptado de Millipore Corporation, 2000.

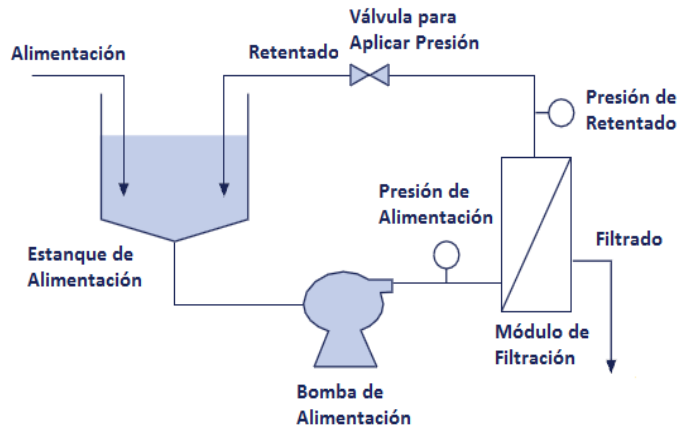
El sistema ahora está listo para ser utilizado.

Cabe destacar que es importante revisar el torque antes de cada uso del sistema. Éste no debe sobrepasar el máximo descrito anteriormente, pues esto podría provocar daños permanentes en la membrana. Por último, se debe tener en consideración la temperatura ambiental en la que se lleva a cabo el ensamblaje y en la que operará el sistema. Si el sistema se ensambla en un área de bajas temperaturas y luego es operado bajo altas temperatura, es necesario revisar el torque, ya que, es posible que se produzca una sobre presión por la dilatación de los materiales contenidos en el cassette.

5.4 Ensamblado del equipo

Se sugiere la disposición que se muestra en la figura 13, la cual posee la configuración mínima de operación y control de variables. Se pueden anexar otros dispositivos, como un intercambiador de calor, válvulas para regular presión a la entrada, membranas adicionales para fraccionar el retentado/filtrado, etc.

Figura 13 Propuesta de configuración del sistema de ultrafiltración de suero.



Fuente: adaptado de Millipore Corporation, 2000.

Actualmente se dispone de todos los elementos descritos en la figura 2.4, con algunas modificaciones:

- **Estanque de alimentación.** Listo para uso.
- **Bomba de alimentación.** Se sugiere una revisión por personal preparado, ya que durante las visitas del asesor comercial, se registran fallas menores en el aparato de bombeo. Probablemente una revisión preventiva sea suficiente para solucionar dichas fallas.
- **Manómetro de presión de entrada.** Está dañado. Se sugiere reemplazar la pieza.
- **Módulo de filtración.** Necesaria una llave de torque para ajustar el cassette. Listo para ensamblaje y uso.
- **Manómetro de presión de salida.** Listo para uso.
- **Válvula para aplicar presión.** Se cuenta con pinzas que impiden parciamente el paso de líquido por las mangueras de caucho. Aunque es posible operar bajo estas condiciones, se sugiere reemplazarla por válvulas de acero inoxidable de mayor precisión.
- **Tuberías.** El sistema actualmente cuenta con mangueras de caucho. Aunque se pueden utilizar en la puesta en marcha (riesgo de fatiga a altas presiones), se sugiere sean reemplazadas por tuberías de acero inoxidable.

Para el ensamblado del equipo de UF, es importante asegurarse de sellar las uniones de las piezas, ya que, el sistema opera bajo presión y se pueden producir filtraciones.

5.5 Puesta en marcha

Todos los procesos de separación por membranas operan por ciclos repetitivos. Para asegurar la funcionalidad y la vida útil de la membrana, el mantenimiento es primordial. Al término de cada ciclo de proceso, tanto la membrana como el sistema en general, deben ser profundamente limpiados para asegurar la reproductibilidad de los resultados de cada ciclo de operación.

Se deben seguir numerosas etapas después de cada ciclo de proceso completado. Estos pasos son específicos para cada operación particular, pero siempre incluye algunos de los que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 8 Etapas de mantenimiento del sistema de UF.

ETAPAS	FUNCIÓN
Lavado/Enjuague	Remover la mayor parte de los residuos dejados durante el ciclo del sistema o remover el agente de limpieza.
Limpieza	Remover los residuos remanentes del ciclo de operación retenidos en la membrana o en las paredes internas del sistema.
Sanitización	Eliminar los microorganismos contaminantes presentes en el interior del sistema.
Depirogenación	Eliminar residuos químicos antes del proceso de productos inyectables (ind. Farmacéutica).
Permeabilidad al agua	Determina la eficacia de las etapas de limpieza y enjuague.
Esterilización	Proceso que elimina eficazmente la totalidad de los microorganismos vivos presentes en el interior del sistema.
Almacenamiento	Mantener la integridad y limpieza del módulo de la membrana cuando no está en uso.

Fuente: adaptado de Millipore Corporation, 2000.

5.5.1 Mantenimiento de la membrana

La limpieza de la membrana y del sistema es un elemento esencial en el mantenimiento del sistema de UF. Lo anterior responde a mantener la eficiencia y productividad del equipo y minimizar los efectos de suciedad adherida a la superficie de la membrana después de cada ciclo de proceso.

a. Selección del agente de limpieza

Los factores a considerar al momento de seleccionar el agente de limpieza para el sistema son:

1. Tipo de suciedad
2. Tipo de membrana
3. Requerimientos de aplicación

El agente de limpieza es seleccionado de acuerdo con una combinación entre la efectividad y la compatibilidad con el material de la membrana y el proceso. El químico de limpieza se escoge en base a la composición del fluido sometido a filtración.

En este caso, por tratarse de suero de leche, la composición del fluido a filtrar se compone principalmente de agua y proteínas, y en lípidos y cenizas en menor cantidad.

b. Descripción de los agentes de limpieza

El mercado ofrece una amplia gama de agentes de limpieza compatibles con los distintos procesos de UF y materiales de membrana. Cada agente de limpieza remueve un contaminante en particular o una clase de ellos por diversos mecanismos. Dentro de estos mecanismos, se pueden mencionar la humectación, emulsificación, hidrolización, dosolución, dispersión, quelación, entre otros. La tabla siguiente muestra la clasificación general de los agentes de limpieza.

Tabla 9 Clasificación de los agentes de limpieza.

CLASIFICACIÓN GENERAL DE AGENTES DE LIMPIEZA		
AGENTE DE LIMPIEZA	MECANISMO	SUCIEDAD
Álcalis	Hidrólisis a pH alto Solubilización Saponificación	Biopolímeros, lípidos, proteínas, almidón.
Ácidos	Solubilización	Sales Inorgánicas.
Surfactantes	Humectación Emulsificación Suspensión Dispersión	Biopolímeros, aceites, lípidos, proteínas y partículas insolubles.
Oxidantes	Degradación oxidativa	Biopolímeros, proteínas, polisacáridos.
Enzimas	Digestión enzimática	Biopolímeros, proteínas, polisacáridos.
Solventes	Solubilización	Aceites, lípidos.

Fuente: adaptado de Millipore Corporation, 2000.

-Álcalis. NaOH (soda cáustica) es agente más utilizado en operaciones de limpieza. Habitualmente se prepara en solución acuosa al 0,1 N y es compatible con la mayoría de los materiales de membrana y tipos de aplicaciones. Además remueve una amplia gama de residuos orgánicos y biológicos.

-Ácidos. Los ácidos nítricos (HNO_3), fosfórico (H_3PO_4) y clorídrico (HCL) son los más comunes para la remoción de residuos inorgánicos, como las sales de calcio y magnesio. Para sistemas de acero inoxidable, no se recomienda el ácido clorídrico por su poder corrosivo.

-Surfactantes. Muchos están formulados con agentes quelantes, enzimas y NaOH, y forman parte de soluciones comerciales. Son muy efectivos y compatibles con casi todos los sistemas de UF, pero su costo es más elevado.

-Oxidantes. El cloro causa degradación oxidativa de residuos proteínicos y otros contaminantes orgánicos. Se recomienda su uso cuando otros agentes de limpieza no son totalmente efectivos o como complemento de una etapa de limpieza anterior. Este

químico es comercializado como hipoclorito de sodio o calcio, y debe usarse en concentraciones de 200-400 ppm de cloro activo (equivalente a 400-800 ppm de NaOCl).

-Enzimas. Usualmente son útiles para aplicaciones de limpieza específicas pero no es ampliamente recomendado. Las reacciones de digestión enzimática son lentas e incompletas. Sin embargo, para aplicaciones que requieren la remoción de carbohidratos complejos como polisacáridos y amilasas los resultados son muy buenos. Algunas preparaciones comerciales contienen enzimas, surfactantes y agentes quelantes.

-Solventes. El uso de solventes es incompatible con las membranas poliméricas, por lo que no es ampliamente recomendado su uso. Etanol al 20-50 %v/v en solución acuosa puede ser utilizado para la limpieza del sistema cuando la membrana sea de un material distinto al antes descrito. Este procedimiento es efectivo en la remoción de lípidos y aceites.

5.5.2 Factores que afectan la eficacia del proceso de limpieza

El proceso de limpieza está influenciado por diversos factores. La significancia de estos factores varía con el método de limpieza o con el tipo de suciedad a remover.

a. Tiempo y concentración

La concentración de agente de limpieza requerida es la necesaria para remover la suciedad del sistema y de la membrana en rango de tiempo razonable. Este tiempo es generalmente entre 30 y 60 minutos por ciclo. La concentración es función, además, del costo del químico y de la vida útil de la membrana.

Altas concentraciones de agente de limpieza no necesariamente se traducen en un procedimiento más completo y más rápido.

b. Temperatura

La temperatura es un factor altamente significativo durante el procedimiento de limpieza del sistema. Afecta de tres maneras:

- disminuye la fuerza del enlace suciedad/superficie
- aumenta parcialmente la solubilidad de los contaminantes solubles
- aumenta las velocidades de reacción de los agentes de limpieza que actúan hidrolizando u oxidando.

Los procedimientos de limpieza eficaces a 50°C pueden no serlo a 25°C. El rango de temperatura adecuada para esta operación es 40-60°C, a menos que las especificaciones de la membrana indiquen una distinta.

c. Velocidad de flujo

La velocidad del flujo durante la operación de limpieza debe ser igual o superior a la velocidad de flujo del proceso de filtrado. Una velocidad del flujo adecuada asegura que el agente de limpieza penetrará completamente la estructura de la membrana, los canales de retentado y en las tuberías.

d. Calidad del agua

La calidad del agua utilizada en la operación de limpieza afecta el proceso de dos maneras:

- Los contaminantes del agua pueden depositarse en la membrana. Estos contaminantes pueden ser coloides orgánicos e inorgánicos, suspensiones y óxido entre muchos otros.
- Los componentes del agua pueden reaccionar con los agentes de limpieza, formando contaminantes. Un ejemplo de lo anterior es la presencia de altos niveles de hierro y manganeso que pueden ser oxidados por el cloro, formar precipitados y depositarse en la membrana.

El fabricante de la membrana, Millipore, sugiere utilizar un agua con las siguientes características:

Tabla 10 Calidad del agua sugerida por Millipore para operaciones de limpieza.

CALIDAD DEL AGUA	
CONSTITUYENTE	CONCENTRACIÓN ACEPTABLE
Fe	<0,05 ppm
Mn	<0,05 ppm
Al	<0,05 ppm
Sílica Reactiva	<2 ppm
Sílica Coloidal	-
Ca, Mg	<25 ppm
Turbidez	<1,0 JTU
SDI 15	Preferiblemente <3
Materia particulada	-
Aceite, lípidos	-

Fuente: adaptado de Millipore Corporation, 2000.

5.5.3 Determinación de la efectividad de la limpieza

La mejor manera de determinar la efectividad del proceso de limpieza es evaluar la permeabilidad al agua normalizada y compararla con el valor de permeabilidad al agua normalizada obtenida antes del primer uso. Cuando la permeabilidad al agua normalizada para dicha membrana alcanza el mismo valor (o muy cercano) obtenido antes del primer uso, entonces se considera que el proceso de limpieza es eficaz.

- Determinación de la permeabilidad al agua normalizada

Una vez retirado el empaque e instalado de la membrana, lavado y enjuagado del sistema ya montado, se procede a realizar la primera medición de la permeabilidad al agua normalizada (NWP, por sus siglas en inglés). Este valor marca la referencia con la cual deben compararse los valores de NWP obtenidos en ciclos sucesivos de procesos. Estos valores subsecuentes de NWP determinarán la eficacia del proceso de limpieza.

Procedimiento:

- a) Dirigir la línea de permeado y retentado al tanque de limpieza.

- b) Cerrar la válvula de descarga del estanque de limpieza y abrir las válvulas de paso de las líneas de permeado y retentado.
- c) Ajustar la velocidad de la bomba a la más baja.
- d) Llenar el tanque de limpieza con agua limpia, preferiblemente a 25°C. Para mediciones precisas, el agua empleada para esta operación debe satisfacer los requerimientos que se muestran en la tabla 10.
- e) Iniciar la recirculación de agua y ajustar las siguientes condiciones de operación para la bomba:
 - Presión de entrada: 10 psi (0,7 Bar)
 - Presión de descarga del retentado: 5 psi (0,35 bar)
- f) Recircular el agua por un lapso de tiempo de 5 a 10 minutos. Asegurarse que las condiciones de presión y temperatura en el sistema son estables después de ese tiempo.
- g) Registrar flujo de permeado, presiones de entrada y salida y temperatura del agua.
- h) Después de finalizar el ciclo, detener el sistema y drenar el líquido.
- i) Calcular el NWP con la siguiente ecuación.

$$NWP = \frac{R \times F}{A \times \left\{ \left(\frac{P_{en} + P_{sa}}{2} \right) - P_p \right\}}$$

Donde:

- R = flujo de permeado en L/hora
- P_{en} = Presión de entrada en psi
- P_{sa} = Presión de descarga del retentado en psi
- P_p = Presión de descarga del permeado (si no es cero) en psi
- A = Área total de la membrana en m²
- F = Factor de corrección de temperatura

- j) Después del primer uso del módulo, el NWP debe estar dentro del 60 al 80% del valor original. Después de sucesivos usos (más de 5 ciclos) el valor de NWP no debe variar más del 10%.

5.5.4 Lavado/enjuague

El objetivo de esta operación es remover o purgar del sistema cualquier residuo o agente de limpieza que esté presente en el interior. Después de cada ciclo de proceso y antes del proceso de limpieza, se procede al de lavado/enjuague para reducir el material contaminante al interior del sistema. Asimismo, después del ciclo de limpieza, es necesario realizar nuevamente el ciclo de lavado/enjuague, con el objeto de eliminar los residuos del agente de limpieza.

Los parámetros clave de esta operación son la velocidad y el volumen del flujo. La velocidad debe ser adecuada para lograr un enjuague efectivo en las líneas de permeado y retentado.

Cuando el ciclo de lavado/enjuague está operando, el flujo en las líneas de retentado y permeado deben ser dirigidas al desagüe. Nunca deben recircularse.

La temperatura es otro parámetro a considerar. Se recomienda agua tibia (40-50°C) para elevar la solubilidad del agente de limpieza o de los residuos presentes.

5.5.5 Sanitización

Este proceso tiene como función disminuir la carga microbiológica en la membrana y al interior del sistema antes y/o después de la corrida del ciclo de proceso. Cabe destacar que este procedimiento no esteriliza el sistema pero está diseñado para minimizar la contaminación del producto durante el proceso de UF. La sanitización siempre debe proceder después del ciclo de limpieza.

Este proceso se puede llevar a cabo con una amplia gama de agentes sanitizantes o mecanismos térmicos. La selección de un sanitizante adecuado para el proceso se basa en la compatibilidad con la membrana.

a. Agentes sanitizantes

- **Cloro.** El cloro es el típico agente sanitizante utilizado en las industrias alimentaria, de bebidas y farmacéutica. Como hipoclorito de sodio (NaOCl) es muy efectivo como agente germicida a pH 6-8 y concentraciones de 20-50 ppm.
- **Ácido peracético.** El ácido peracético (CH₃COOOH) en concentraciones de 100-300 ppm ha demostrado un alto poder germicida y es compatible con la gran mayoría de las membranas. Puede ser utilizado como alternativa al cloro cuando éste último no es compatible con la membrana.

- **Formaldehido.** La solución de formalina (HCHO) es un agente sanitizante muy efectivo y puede ser utilizado con casi todas las membranas. Debe existir la precaución de eliminar cualquier residuo de esta sustancia al interior del sistema si se procesan fluidos proteicos, pues éste reacciona con las proteínas.
- **Hidróxido de sodio.** Este compuesto (NaOH) a pH 12-13 también posee un alto poder germicida, aunque no alcanza la efectividad del cloro.
- **Agua caliente.** La exposición al sistema de agua a 80°C durante 1 hora, puede ser utilizado como sanitizante. Esta técnica no es aplicable a todos los sistemas de UF dado a que excede los límites máximos de temperatura de muchas membranas.

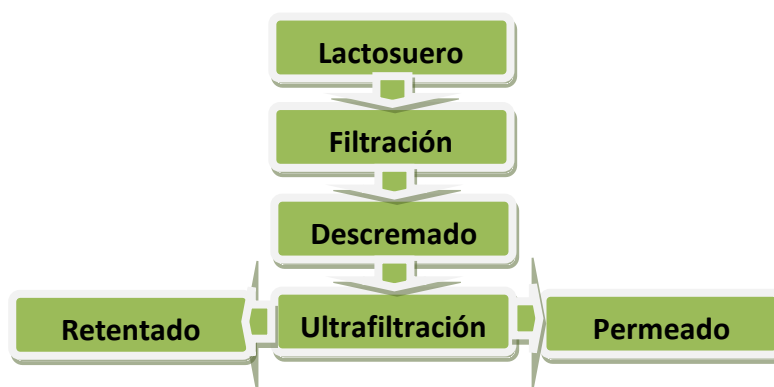
5.5.6 Otros procesos de mantenimiento

Existen otros procesos requeridos para la mantención del sistema de UF, como la depirogenización y esterilización. Dado que dichos procesos no son aplicables al sistema de concentración de suero de leche, no serán discutidos. Para información detallada a cerca de estos procesos, revisar la Guía de Mantención para Sistemas y Filtros de Flujo Tangencial (Maintenance guide for tangential flow filters and systems) de Millipore Corporation.

5.6 Diagrama de flujo del proceso

A continuación se muestra el diagrama de flujo del proceso a partir de la obtención del lactosuero.

Figura 14 Diagrama de flujo del proceso de ultrafiltración.



Éste debe ser sometido a una filtración para retirar los sólidos producto de la cuajada y producción del queso. Luego, se procede al descremado del lactosuero por centrifugación a 4.000 g y a una temperatura de 35-40°C. Finalmente, el fluido está listo para entrar al proceso de ultrafiltración. De allí se obtendrá el permeado, el cual

corresponde a la fracción de proteínas, que por su tamaño, pudo traspasar la membrana; y el retentado, que es finalmente el concentrado de proteínas del suero, que por su tamaño, no lograron atravesar la membrana.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] CHERYAN, M. Ultrafiltration Handbook. Lancaster, Pennsylvania, USA. 1986. Technomic.
- [2] DÍAZ, O.; PEREIRA, C.; COBOS, A. Functional properties of ovine whey protein concentrates produced by membrane technology after clarification of cheese manufacture by-products. Food Hydrocolloids (2004) 18; 601-610.
- [3] GARAVITO, A.; ESPÍNDOLA, M. Proceso de Concentración de Proteína de Suero de Leche por Ultrafiltración. Proyecto de Grado para optar al título de Ingeniero Químico. Planta de Vegetales – ICTA, Universidad Nacional de Colombia. 1995.
- [4] GILLIES, M. Whey Processing and Utilization: Economic and Technical Aspects. Noyes Data Corporation, USA. 1974. Chapter II.
- [5] KAZEMIMOGHDAM, M.; MOHAMMADI, T. Chemical cleaning of ultrafiltration membranes in the milk industry. Desalination (2007) 204, 213-218.
- [6] KIERAN, M.; MURRAY, C.; O’KENNEDY, B. (2003). Effects of ultrafiltration of whole milk on some properties of spray-dried milk powders. International Dairy Journal (2003) 23, 995-1002.
- [7] KLINKOWSKI, P.R. “ Ultrafiltration” en Jirk, R. Y Othmer, D. “Encyclopedia of Chemical Technology”, John Wiley & Sons, Inc. USA. 1983. Págs. 439-461.
- [8] MAHAUT, M.; ROMAIN, J.; GÉRARD, B.; SCHUCK P. Productos Lácteos Industriales. Editorial Acribia SA, Zaragoza, España. 2004. Págs. 130-138.
- [9] MILLIPORE CORPORATION. Maintenance guide for tangential flow filters and systems. Bedford, MA, USA. 1989.
- [10]MILLIPORE CORPORATION. Techniques for demonstrating cleaning effectiveness of ultrafiltration membranes, technical brief. Bedford, MA, USA. 2000.
- [11]MILLIPORE CORPORATION. Maintenance procedures; Pellicon and Pellicon 2 cassette filters. Bedford, MA, USA. 2000.
- [12]MILLIPORE CORPORATION. Pellicon 2 cassettes and Maxi Filters. User Guide. Bedford, MA, USA. 2000.

- [13]METSAMUURONEN, S.; NYSTROM, M. Enrichment of α -lactalbumina from diluted whey with polymeric ultrafiltration membranes. *Journal of Membrane Science* (2009) 337, págs. 248-256.
- [14]NARONG, P.; JAMES, A. Efficiency of ultrafiltration in the separation of whey suspensions using a tubular zirconia membrane. *Desalination* (2008) 219; 348-357.
- [15]PERRY, ROBERT H. *Manual del Ingeniero Químico. Capítulo 2: procesos de separación por medio de membranas. 7ma Edición, Mcgraw-hill, NY. 2001.*
- [16]RAZAVI M, MORTAZAVI A, MOUSAVI M. Dynamic modeling of milk ultrafiltration by artificial neural network. *Journal of Membrane Science* (2003) 220. Págs. 47-58.
- [17]RINALDONI A, TARAGAZA C, CAMPDERRÓS M, PÉREZ A. Assesing performance of skim milk ultrafiltration by using technical parameters. *Journal of Food Engineering* (2009) 92; 226-232.
- [18]RODRÍGUEZ, J. Procesos de membrana en la industria láctea. En revista de Alimentación, Equipos y Tecnología. 1997. Pág. 31-38.
- [19]SCOTT, R. *Fabricación de Queso. Editorial Acribia SA, Zaragoza, España. 1991. Capítulo 19.*
- [20]SERNA, L. Efecto de la utilización de un sistema de ultrafiltración, en el proceso de elaboración de gelatina, sobre la calidad del producto final. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. 1996.
- [21]SHARMA, S.; MULVANEY, S.; RIZVI, S. *Food Process Engineering: Theory and Laboratory Experiments. Jhon Wiley & Sons, Inc. USA. 2006. Chapter 9.*
- [22]TOLEDO, R. *Fundamentals of Food Process Engineering. Chapman & Hall, 2d Edition, USA. 1991. Chapter 13.*
- [23]WALSTRA, P.; GEURTS, T.; NOOMEN, A.; JELLEMA; VAN BOEKEL, M. *Ciencias de la leche y tecnología de los productos lácteos. Ed., Acribia, Zaragoza, España. 2001.*
- [24]YEE K, WILEY D, BAO J. Whey protein concentrate production by continuous ultrafiltration: Operability under constant operating conditions. *Journal of Membrane Science* (2007) 290; 125-137.

7 CIBERGRAFÍA

- [25]GELMAN SCIENCE. Capitulo 4: Membranas de Ultra, Micro y Nanofiltración. P145-249. Documento electrónico descargado de la página web el 9 de febrero de 2010. [http://descargas.cervantesvirtual.com/servlet/SirveObras/12690522024584839321435/007323_4.pdf]
- [26]OPEX Energy. Operación y mantenimiento. Portal web visitado 9 de febrero de 2010. [<http://www.opex-energy.com/index.html>]