

**Universidad autónoma de nicaragua
UNAN-LEON**



**TRATAMIENTO DE AGUA POR FILTRACION
TANGENCIAL CON MEMBRANA DE CERAMICA**

***TRABAJO MONOGRAFICO PREVIO PARA OPTAR AL
TITULO DE LICENCIADO EN QUIMICA***

PRESENTADO POR:

Br. Marvin Reyes Padilla

TUTORES

Dr. Delgado Paniagua Gustavo Marcial

Msc. Guevara Villavicencio Octavio

LEON, 17 NOV. DE 2003

INDICE

CAP.	TEMA	PÁGINA
	RESUMEN	1
I	INTRODUCCION	2
II	OBJECTIVOS	4
III	MARCO TEORICO	
III.1	Generalidades sobre el agua	5
III.2	Contaminaciones del agua	6
III.2.1	Contaminación de río y lagos	6
III.2.2	Principales contaminantes del agua	7
III.3	Control de la contaminación de agua superficiales	8
III.4	Parámetros para la verificación de la calidad del agua potable	9
III.4.1	Control de los componentes físico-químico del agua	10
III.4.2	Parámetros de la calidad del agua potable	11
III.5	Técnicas de tratamiento de agua	12
III.5.1	Proceso de filtración con membranas	15
III.6	Descripción esquemático de la operación en una membrana de filtración tangencial	16
III.6.1	Configuración de las Membranas en los procesos de filtración	19
III.6.2	Proceso que utilizan membranas para el tratamiento de agua	21
III.6.3	Capacidad de las membranas para remover los contaminantes presente en el agua	24

III.6.4	Clasificación de los procesos de filtración con membrana	26
III.6.5	Ventajas de la filtración tangencial sobre la filtración convencional	28
III.7	Reglamentación internacional medioambiental para los procesos de filtración con membrana	29
III.8	Modelo de flujo en los procesos de filtración con membrana actuado por diferencia de presión	30
III.9	Transferencia de masa en fluido	31
III.10	Separación de sustancia contaminante del agua mediante técnicas químicas	33
III.11	Técnicas de desinfección del agua	36
III.11.1	Desinfección del agua a través de agentes químicos	37
III.12	Técnica de tratamiento biológico del agua	52
IV	PARTE EXPERIMENTAL	
IV.1	Materiales y reactivos	53
IV.2	Metodología	55
IV.2.1	Muestreo de agua	55
IV.2.2	Lavado y esterilización de materiales volumétrico y planta de filtración	56
IV.2.3	Procedimiento para la filtración tangencial	57
IV.2.4	Procedimiento de limpieza de la membrana	57
IV.2.5	Análisis físico-químicos del agua filtrada y no filtrada	58
IV.2.6	Análisis microbiológico del agua filtrada y no filtrada	62
V	RESULTADOS Y ANALISIS DE LOS	

RESULTADOS

V.1	Diseño y descripción del proceso de filtración	63
V.2	Evaluación del modelo de flujo en función de la presión	67
V.3	Evaluación de la eficiencia del filtro a través del parámetro % retención de la membrana	69
V.4	Determinación de la demanda de cloro y tratamiento del agua filtrada	73
VI	CONCLUSIONES	74
VII	RECOMENDACIONES	75
VIII	BIBLIOGRAFÍA	76
	ANEXOS	

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue implantar un nuevo sistema de purificación de agua con técnica de filtración tangencial y química para consumo humano.

Para la realización de este trabajo se elaboró un diseño estructural en redes de tuberías con una bomba peristáltica de agua y un filtro de varias membranas, el montaje se realizó en el laboratorio.

El filtro consiste en un soporte cilíndrico de cerámica con 60 cm de largo y una superficie de 0.2 m² donde se encuentran ubicada coaxialmente una serie de 19 membranas con poros de 0.2 μm de diámetro por los cuales se hizo pasar el agua a tratar desde un recipiente a presión constante obteniéndose de esta forma el agua filtrada.

Se hizo un estudio de la eficiencia del filtro realizándole varios análisis físico-químico y microbiológico al agua antes y después de ser filtrada.

Se obtuvieron los siguientes resultados para el análisis físico-químico del agua antes de ser filtrada. **Conductividad** (390.2 μs/cm), **pH** (7.74), **Sólidos Totales** (623mg/l), **Sólidos Volátiles** (395 mg/l), **Turbidez** (641NTU), **Nitrato** (2.83 mg/l), **Sulfato** (7.115mg/l).

Después de filtrada los valores fueron los siguientes: **Conductividad** (389.5 μs/cm), **pH** (7.74), **Sólidos Totales** (20mg/l), **Sólidos Volátiles** (27 mg/l), **Turbidez** (0.25NTU), **Nitrato** (1.65mg/l), **Sulfato** (3.898mg/l).

Para el análisis microbiológico del agua antes de ser filtrada se encontró. **Coliformes Totales** (25200ufc/100ml), **Coliformes Fecales** (23800ufc/100ml), **Salmonella** (+), **Clostridium** (+). Se logró una eliminación completa de estos organismos indicadores en el agua filtrada.

Por tanto el agua filtrada con esta técnica puede ser utilizada para el consumo humano ya que los resultados de los análisis físico-químico y microbiológico están dentro de las normas de la OMS.

I. INTRODUCCION

Generalmente las aguas naturales contienen numerosos gérmenes algunos de los cuales pueden ser patógenos, estos gérmenes patógenos suelen estar en el suelo o en el agua contaminada con excreta humana o animal.

De este modo el agua se convierte en un vehículo de transmisión de enfermedades como el cólera, tifoidea, paratifoidea, hepatitis, disentería amibiana viral y otras.

Actualmente la mayor parte de las poblaciones rurales de Nicaragua se abastecen de agua no apta para consumo humano como consecuencia de ello los índices de enfermedades relacionada con el agua son altos.^[1]

Sin embargo estas enfermedades pueden prevenirse por medio de la desinfección por calor u otra técnica química con oxidantes o física por filtración que mejoran la calidad bacteriológica del agua de consumo humano.

El tratamiento que se efectúe a las aguas para que sea potable desde el punto de vista bacteriológico debe garantizar la ausencia de todo los gérmenes infecciosos y suprimir el riesgo de contaminación de un punto de agua o de un sistema de distribución que haya sufrido los efectos de una contaminación^[2].

En Nicaragua existen dos tipos de tratamientos de agua para consumo humano los cuales son Químico y Físico utilizados por la Empresa Nacional de Acueducto y Alcantarillado regida por las normas de la OMS.

El tratamiento químico que se realiza a las aguas subterráneas es la adición de cloro en forma gaseosa en concentraciones determinadas y aplicada a la tubería que se encuentra precedente a la red de distribución de dicha agua, este tipo de tratamiento es llevado a cabo en las regiones de Nicaragua de occidente.

A las aguas superficiales el tratamiento realizado es una combinación primero física y luego química, el tratamiento físico es el de filtración convencional el cual esta en función de las masas de las partículas que se encuentran en el agua y luego de pasar por este tratamiento se utiliza cloro gaseoso de tal forma que garantice una concentración de cloro residual de 1 ppm como máximo. Estas combinación de tratamiento es realizado en las regiones Norte, Sur y Central de Nicaragua.^[3]

El propósito del presente trabajo es el de diseñar una planta a nivel de laboratorio para el tratamiento de aguas superficiales y subterráneas por medio de la técnica filtración tangencial utilizando membrana de cerámica.

Dado al poco progreso en este ámbito pretendemos tecnificar el desarrollo de nuestro país con nuevas técnicas como la técnica de filtración tangencial utilizando membrana de cerámica ya que esta presenta menos limitaciones que las técnicas convencionales (centrifugación, mallas o filtración tradicional).

Dentro de los factores que le da más aceptación a esta técnica tenemos las siguientes:

- 1) Se puede trabajar en continuo sin necesidad de aditivos.
- 2) Elevada resistencia térmica y química de las membranas cerámicas.
- 3) Son fácilmente combinable con otros procesos.

II. OBJETIVOS

GENERALES

- 1. Diseñar una planta de filtración de agua a nivel de laboratorio para el tratamiento de aguas superficiales y subterráneas por medio de la técnica de filtración tangencial utilizando membrana de cerámica.*

ESPECIFICOS

- 1. Implementar el montaje de la planta de filtración tangencial con membrana de cerámica.*
- 2. Aplicar la técnica de filtración en las aguas del río tamarindo.*
- 3. Realizar un estudio de la eficiencia del sistema de filtración a través del parámetro de retención de las membranas realizándole análisis fisicoquímico y microbiológico al agua antes y después de ser filtrada*
- 4. Determinar la demanda de cloro al agua filtrada.*
- 5. Tratar el agua filtrada con solución de hipoclorito de sodio.*

III. MARCO TEORICO

III.1 GENERALIDADES SOBRE EL AGUA

El Agua es una sustancia muy sencilla, pero posee un conjunto de propiedades que la hacen única lo que unido a su abundancia le otorgan una gran importancia en el ciclo biológico del planeta.

Entre sus notables propiedades se encuentran:

- I. El agua puede encontrarse en la naturaleza en sus tres estados sólido, líquido y vapor pudiendo existir en un momento dado en equilibrio entre sus tres formas.
- II. El calor específico del agua es (1 cal/gr°C)
- III. La conductividad térmica es la mayor de todos los líquidos con la única excepción del mercurio.
- IV. La estructura molecular del agua es un dipolo: su constante dieléctrica es muy alta mayor que para cualquier otro líquido lo que le confiere la propiedad de disolver cualquier sustancia aunque sea en cantidades extremadamente pequeñas.

Ello hace que el agua no sea nunca *químicamente pura* llevando siempre diversas sustancias como gases, sales o grasas disueltas.

El agua es débilmente ionizable conteniendo siempre algunos iones hidrógeno dando un pH próximo a 6. La concentración de iones en el agua es muy importante para los organismos^[4].

III.2 CONTAMINACIONES DE LAS AGUAS

Un contaminante en el agua es cualquier elemento o sustancia que por arriba de cierta concentración en el ambiente es tóxico al organismo. Los procesos que introducen contaminante al medio ambiente pueden ser naturales o antropogénica.

La contaminación es un proceso de alteración o modificación de los equilibrios físicos, químicos y biológicos del agua que son responsables de su calidad y la hacen inadecuada para sus numerosos usos y aplicaciones.

La contaminación puede ser química o microbiana; la primera constituye una causa de impurificación creciente tanto de las aguas superficiales como de las subterráneas por la llegada de la filtración de numerosas sustancias químicas nocivas.

La contaminación microbiana afecta fundamentalmente a las aguas superficiales y aunque teóricamente cualquier bacteria patógena puede llegar al agua y propagarse por este medio en la práctica esta posibilidad se limita ya que no todas sobreviven al cambio de medio de vida^[4].

III.2.1 Contaminación de ríos y lagos

Las corrientes fluviales debido a que fluyen se recuperan rápidamente del exceso de calor y los desechos desagradables. Esto funciona mientras no haya sobrecarga de los contaminantes, o su flujo no sea reducido por sequía, represado, etc.

Contaminación Orgánica

En los lagos, rebalses, estuarios y mares con frecuencia la dilución es menos efectiva que en las corrientes porque tienen escasa influencia lo cual hace a los lagos más vulnerables a la contaminación por nutrientes vegetales (nitratos y fosfatos) (eutroficación.).

Fuentes Puntuales

Las fuentes puntuales descargan contaminantes en localizaciones específicas a través de tuberías y alcantarillas.

Fuentes no Puntuales.

Las fuentes no puntuales son grandes áreas de terreno que descargan contaminantes al agua sobre una región extensa^[4].

III.2.2 Principales contaminantes de las aguas

Agentes patógenos.

Bacterias, virus, protozoarios, parásitos que entran al agua proveniente de desechos orgánicos estos pueden agruparse en un rango de 10-0.1 μ m.

Los desechos orgánicos pueden ser descompuestos por bacterias que usan oxígeno para biodegradarlos. Si hay poblaciones grandes de estas bacterias pueden agotar el oxígeno del agua matando así las formas de vida acuáticas.

Sustancias químicas inorgánicas

Ácidos, compuestos de metales tóxicos (Mercurio, Plomo) envenenan el agua.

Los principales elementos que se encuentran en las aguas superficiales y subterráneas son:

Cl (cloro) como cloruro.

S (azufre) como sulfatos.

C (carbono) como carbonato ácido.

Estos se combinan especialmente con:

Na (sodio) como cloruro, sulfato, carbonato ácido, y nitrato.

Ca (calcio) como sulfato o carbonato ácido.

Mg (magnesio) como sulfato o carbonato ácido^[4].

Sustancias químicas orgánicas

Petróleo, plásticos, plaguicidas, detergentes que amenazan la vida acuática. Sedimentos o materia suspendida. Partículas insolubles de suelo que enturbian el agua y que son la mayor fuente de contaminación.

Calor

Ingresos de agua caliente que disminuyen el contenido de oxígeno y hace a los organismos acuáticos muy vulnerables.

III.3 CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL

La principal fuente no puntual de la contaminación del agua es la agricultura. Los agricultores pueden reducir drásticamente el vertimiento de fertilizantes en las aguas superficiales y la infiltración a los acuíferos no usando cantidades excesivas de fertilizantes. Además deben reducir el uso de plaguicidas.

En muchos lugares las aguas negras y los desechos industriales forman parte de las fuente no puntuales y no son tratados. En vez de eso son descargados en la vía de agua más cercana o en lagunas de desechos donde el aire, luz solar y los microorganismos degradan los desechos, el agua permanece en una de esas lagunas durante 30 días.

En la mayor parte los desechos de las fuentes no puntuales se depuran en grados variables, en áreas rurales y suburbanas las aguas negras de cada casa generalmente son descargadas en una fosa séptica.

En las áreas urbanas la mayoría de los desechos son transportados por agua desde las casas, empresas, fábricas y el escurrimiento de las lluvias fluyen a través de una red de conductos de alcantarillado y van a plantas de tratamientos de aguas de desecho.

Algunas ciudades tienen sistemas separados para el desagüe pluvial, pero en otros los conductos para estos dos sistemas están combinados,

cuando las aguas negras llegan a una planta de tratamiento pueden tener hasta tres niveles de purificación.

El tratamiento primario de aguas negras es un proceso para separar desechos como palos, piedras y trapos, el tratamiento secundario de aguas negras es un proceso biológico que utiliza bacterias aeróbicas.

El tratamiento avanzado de aguas negras es una serie de procesos químicos y físicos especializados que disminuye la cantidad de contaminantes específicos que quedan todavía después del tratamiento primario y secundario, antes de que el agua sea descargada desde una planta de tratamiento de aguas negras se desinfecta, el método usual es la cloración.

Otros desinfectantes son el ozono, peróxido de hidrógeno y luz ultravioleta. El tratamiento común de las aguas negras ha ayudado a reducir la contaminación del agua de la superficie, pero los ambientalistas señalan que es un método de salida limitado e imperfecto que eventualmente es sobrepasado por más personas que producen más desechos^[4].

III.4 PARÁMETROS PARA LA VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE

Color

La presencia de color en el agua para beber puede ser propia por el suelo del cual es extraído y también por la presencia de hierro u otro metal generalmente como impureza o producto resultante de la corrección.

Sabor y olor

La determinación del sabor y olor es fundamental en el agua de consumo humano ya que la presencia de los mismos puede llegar a la elección de otras fuentes no controladas que pueda resultar mucho más perjudiciales a la salud.

El sabor y el olor pueden ser originada por procesos naturales o biológicos por contaminación química o productos utilizados en el tratamiento del agua.

Temperatura

En general es preferible una agua fresca que una agua tibia porque los problemas de corrosión, color, olor, sabor, disminución de oxígeno disuelto se acentúan con temperatura elevada al igual que el crecimiento bacteriano.

Turbidez

La turbidez en el agua de consumo humano se debe a la presencia de materia orgánica o también por partículas inorgánicas principalmente en aguas subterráneas una elevada turbidez interfiere en una buena desinfección del agua así como permite el crecimiento bacteriano^[5].

III.4.1 Control de los componentes físico-químico del agua

pH

La medida del pH es una de las pruebas más importante utilizada en el análisis químico del agua, se admite un pH entre 6.5-8.5 para consumo humano pero no quiere decir que no sea importante mantener un pH intermedio ya que un pH extremo puede acelerar el proceso de degradación y combinación de los metales disueltos en el agua.

DQO

Demanda química de oxígeno nos indica la cantidad de oxígeno consumido por sustancias existentes en el agua se acepta un máximo de 300 mg/Lt de oxígeno consumido.

DBO5

La DBO5 (demanda bioquímica de oxígeno) nos indica la cantidad de oxígeno consumida en 5 días a 20 °C por un exceso biológico.

SALINIDAD

La salinidad es una importante propiedad del agua superficial para su medida se utilizan métodos indirectos como la conductividad eléctrica.

DUREZA

La dureza es originada por las sales de calcio y magnesio se distinguen:

Dureza temporaria o de carbonato (carbonato ácido de calcio y magnesio)

Dureza permanente (sulfato de calcio y magnesio, nitrato y cloruro)

50-100 mg/L dureza CaCO₃ agua blanda.

150-250 mg/L dureza CaCO₃ agua moderadamente dura.

300 mg/L dureza CaCO₃ agua dura.^[5]

III.4.2 Parámetros de la calidad del agua potable

Los límites permisibles de los diferentes parámetros que caracterizan la calidad del agua se pueden ver en las tablas No.1 y No.2.

Tabla No1 Límites permisibles máximos de los parámetros físico-químico en agua de uso humano^[5].

Parámetros	Unidad	OMS	Nicaragua
Año		1995	1994
Origen		Valores Guías	CAPRE
Ph	Unidad	-	8.5
Conductividad	µs/cm	-	400
Sólidos Totales	mg/l	500	500
Sólidos Volátiles	mg/l	500	500
Turbidez	NTU	5	5
Nitrato	mg/l	50	50
Sulfato	mg/l	250	250

Tabla No2. Limites permisible máximo de los parámetros microbiológicos en agua de uso humano^[5].

Parámetros	Unidad	OMS	Nicaragua
Año		1995	1994
Origen		Valores Guías	CAPRE
Coliformes Totales	UFC/100ml	0	(0-4)
Coliformes Fecales	UFC/100ml	0	0
Salmonella	---	(-)	(-)
Clostridium	---	(-)	(-)

III.5 TÉCNICAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS

Una planta de tratamiento de agua debe ser capaz de producir un producto final de considerable alta calidad independientemente de cual sea la demanda con la excepción de la agua subterránea pura concreta toda el agua suministrada requieren una purificación.

Aunque en teoría el agua más sucia se puede purificar hasta calidad de agua potable en la práctica incluso el tratamiento de agua relativamente pura para producir una agua final de una calidad estable y en suficiente volumen es técnicamente muy difícil^[6].

Existe una subdivisión en esta técnica en dos grupos:

1. En función de la masa de las partículas^[7].

Malla:

Elimina las partículas más grandes, es la etapa previa a toda depuración.

Tamizado:

Elimina las partículas más pequeñas, este precede a la filtración por malla.

Filtración de superficie

Retiene las soluciones cargadas de lodo permitiendo filtrarse las aguas más libre de materiales sólidos.

Filtración en profundidad (filtro de arena)

Esta filtración es realizada después de pasar por los tratamientos anteriores y es utilizado para el tratamiento de líquido claro o agua potable.

Cada uno de los procesos descrito anteriormente corresponden al de filtración convencional o frontal.

Estas se utilizan generalmente en serie en los procesos de tratamientos de agua según los objetivos que se perciban por lo cual se diferencian unos de otros por sus funciones realizada, tipo y tamaño de partículas que excluyan.

En la operación de ***filtración convencional cerrado*** todo el flujo de alimentación pasa a través de la membrana en un paso. Las limitaciones de un filtrado directo (convencional) provocan que los medios filtrantes se recubran con mucho mayor rapidez.

2. En función del tamaño de las partículas.

En este segundo grupo se encuentran las técnicas nuevas de separación o de concentración denominadas proceso de separación con membranas orgánicas e inorgánicas.

Estas forman un nuevo campo en la tecnología de separación, su comercialización empezó a final del año de 1980 hasta hoy, sus largas

aplicaciones son en la agro-alimentación, biotecnología, farmacéutica, tratamiento de efluente de agua potable y otras industrias están en progreso.^[7]

Una membrana puede definirse como una barrera al flujo de materias en suspensión, coloidales, o materia en disolución en un disolvente.

Las membranas representan un importante nuevo conjunto de procesos para el tratamiento de agua potable. Su tremendo potencial resulta de sus universales capacidades de tratamiento y de su coste competitivo.

Hay muy pocos contaminantes del agua potable que no puedan ser removidos por proceso de membrana y el coste del tratamiento de membrana aumenta a medida que decrece el tamaño del soluto removido.^[8]

Estos procesos están basados sobre el principio de la filtración tangencial que limita el colmataje de los poros, este término colmataje reagrupa tres fenómenos.

- Absorción de macromolécula con el contacto de la membrana.
- Obstrucción mecánica de poros cuando las dimensiones de las moléculas del soluto son cercanas a las de los poros de la membrana
- Formación de un gel con el aumento de concentración del soluto en contacto con la membrana^[9].

Para remediar el colmataje que provoca una disminución de flujo de permeado en función del tiempo es necesario realizar retrolavado inverso al flujo

El desarrollo de una variedad de materiales de membranas bien sea sintético o polímeros naturales modificados acoplados y dispuesto en diversas formas de fabricación han jugado un papel integral en el desarrollo a escala industrial de las aplicaciones de la separación por membrana.

Para la selección del material a utilizar en la elaboración de la membrana deben considerarse varias características importantes de la membrana como la selectividad, permeabilidad, estabilidad mecánica, resistencia química, y la estabilidad térmica.

Entre los muchos materiales primario usado para la fabricación de membrana los más básicos implican varias formas modificadas de materiales de acetatos, celulosa naturales, cerámicas y una variedad de materiales sintético.

Estos materiales de síntesis están compuesto principalmente de poliamidas, polisulfonas, polimeros de vinilos, polifurano, polibenzimidazol, policarbonatos.

III.5.1 Procesos de filtración con membranas

En estos procesos como puede observarse en la Fig. 1 se clasifican por el diámetro de sus poros de exclusión los cuales presentan menor diámetro que las partículas a separar.^[10]

Cuando el tamaño del diámetro de la partícula es (>1) cm se utiliza filtro de malla o cribaje; (1.0cm-1.0mm) se emplea la centrifugación y filtros de arena; ($10\mu\text{m}-10^{-1}\mu\text{m}$) se recurre a la microfiltración y ultracentrifugación; ($10^{-1}\mu\text{m}-10^{-3}\mu\text{m}$) se utiliza la ultrafiltración; ($10^{-1}\mu\text{m}-10^{-4}\mu\text{m}$) se emplea la nanofiltración; ($>10^{-4}$) se recurre a osmosis inversa.

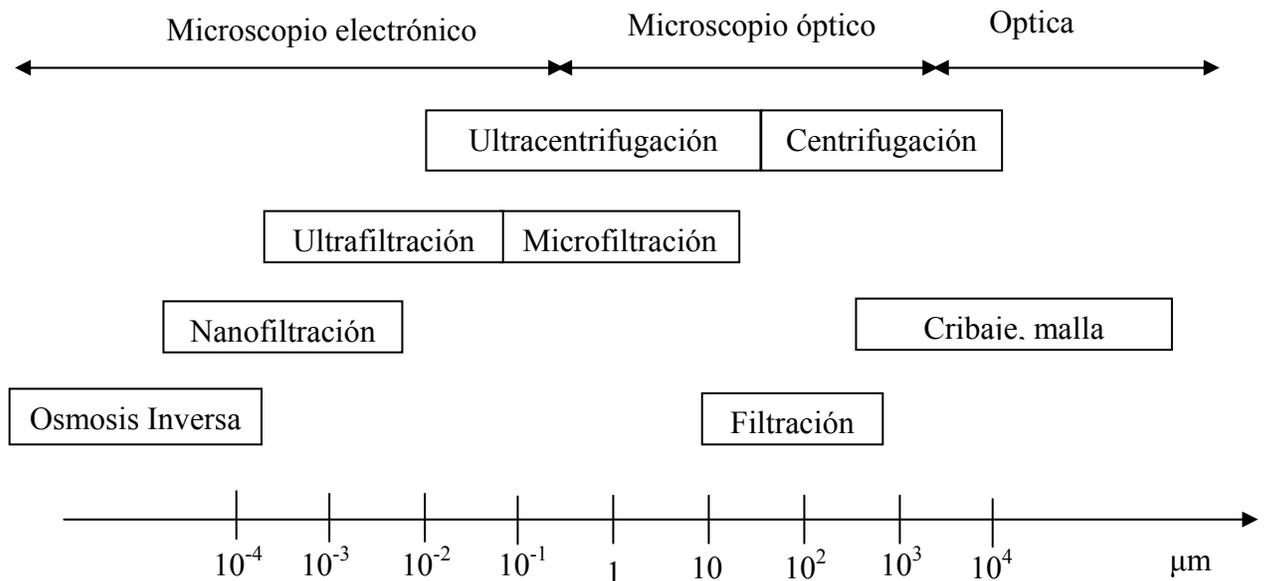


Figura: 1. Clasificación de los procesos de tratamiento físico según el diámetro de sus poros de exclusión.

III.6 DESCRIPCIÓN ESQUEMÁTICA DE LA OPERACIÓN EN UNA MEMBRANA DE FILTRACIÓN TANGENCIAL

En una operación de filtración tangencial solo una parte del flujo o caudal pasa a través de las membranas y el resto de los solutos retenidos se acumulan en la superficie de la membrana el flujo remanente se recircula al lado de alimentación.

Este régimen transversal incorpora un *flujo tangencial* que remueve la torta y minimiza la acumulación de sólidos en la superficie de la membrana.

En la figura No.2 se puede observar un esquema de la operación en una membrana de filtración tangencial.

1. La membrana esta constituida por una corteza activa lo más delgada posible con pequeños poros que permiten la separación y de un soporte grueso con grandes poros asegurando la resistencia mecánica y de baja resistencia hidráulica.
2. La presión que se ejerce sobre el fluido de alimentación que fluye tangencialmente hace que el líquido y las pequeñas partículas de menor tamaño que el poro atraviesen la membrana. Las partículas retenida dan origen a un colmataje que esta constituido de dos parte:
 - a) El depósito o gel formado por las grandes y pequeñas partículas inmovilizadas que hacen contacto con la membrana y es de espesor variable.
 - b) La capa de polarización de concentración que es una capa límite líquida en la cual la concentración de los solutos aumenta progresivamente desde la línea del líquido en movimiento tangencial hasta un máximo en el depósito; mientras que la velocidad tangencial disminuye hasta anularse a nivel del depósito.
3. Cuando se alcanza un régimen estacionario en el equilibrio, el fenómeno de convección es igual al de difusión^[10].

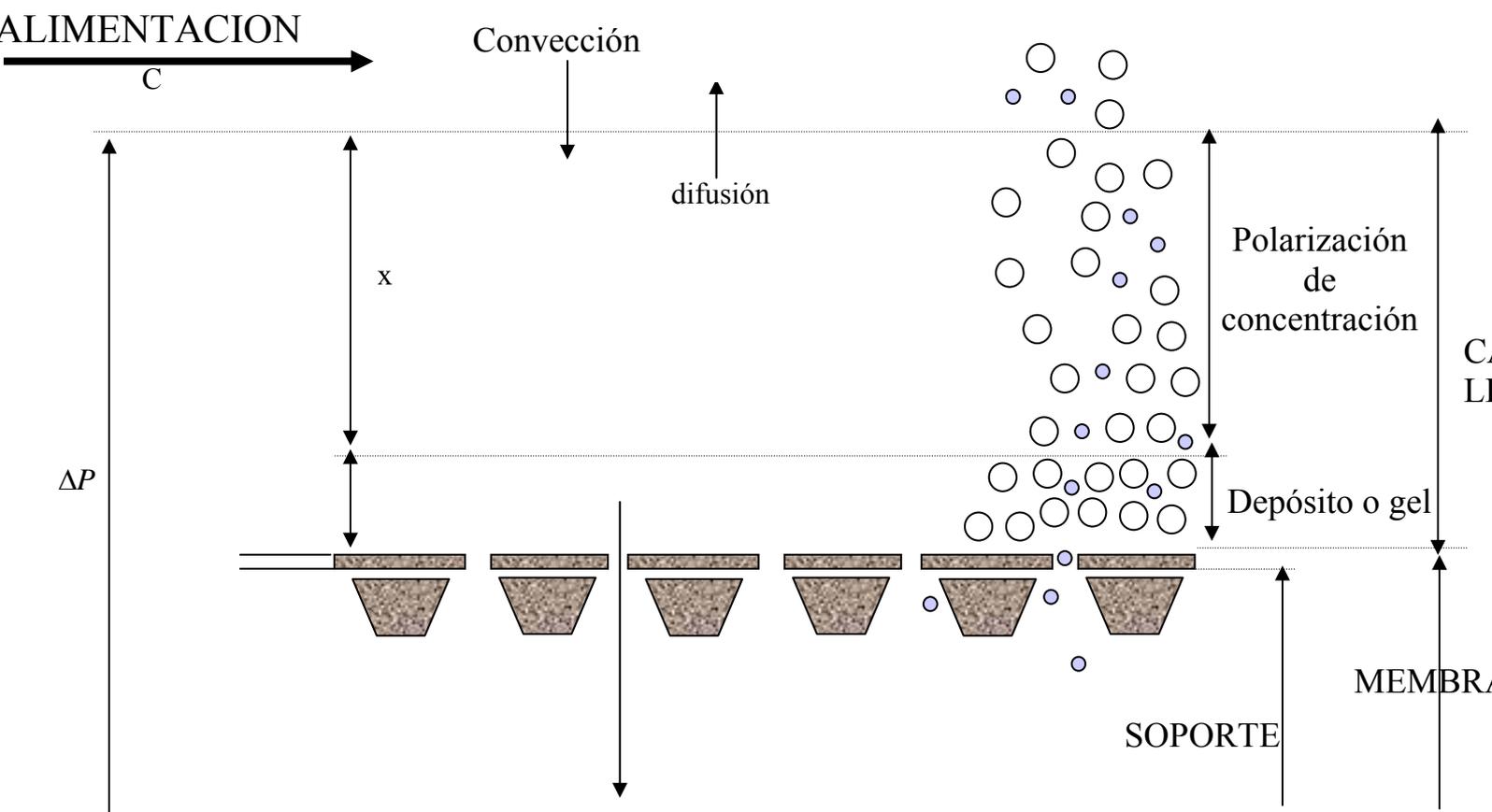


Figura 2. Esquema Del Funcionamiento De Una Membrana De Filtración Tangencial

Configuración de la membrana en los procesos de filtración

Las primeras membranas comercialmente disponibles estaban diseñadas como laminas planas enrolladas para formar membranas en espiral. Estas membranas no toleraban los sólidos ni las altas presiones requeridas para operar como consecuencia de esto surgieron las membranas de fibra hueca, existen dos tipo de membrana de fibra hueca estas se pueden observar en la figura No 6.

❖ Flujo interior – exterior ver figura 6 (a).

El afluente se alimenta dentro del volumen de la membrana y el agua limpia se produce del interior de la membrana al exterior.

Esta configuración es utilizada para separar las partículas en suspensión y los micros organismos perjudiciales presente en el agua destinado al consumo humano.

❖ Flujo exterior – interior ver figura 6 (b).

El afluente se alimenta desde fuera de la membrana y el agua limpia se produce desde el exterior hasta el interior de la membrana.

Este tipo de configuración es empleada para descolmatar las membranas.

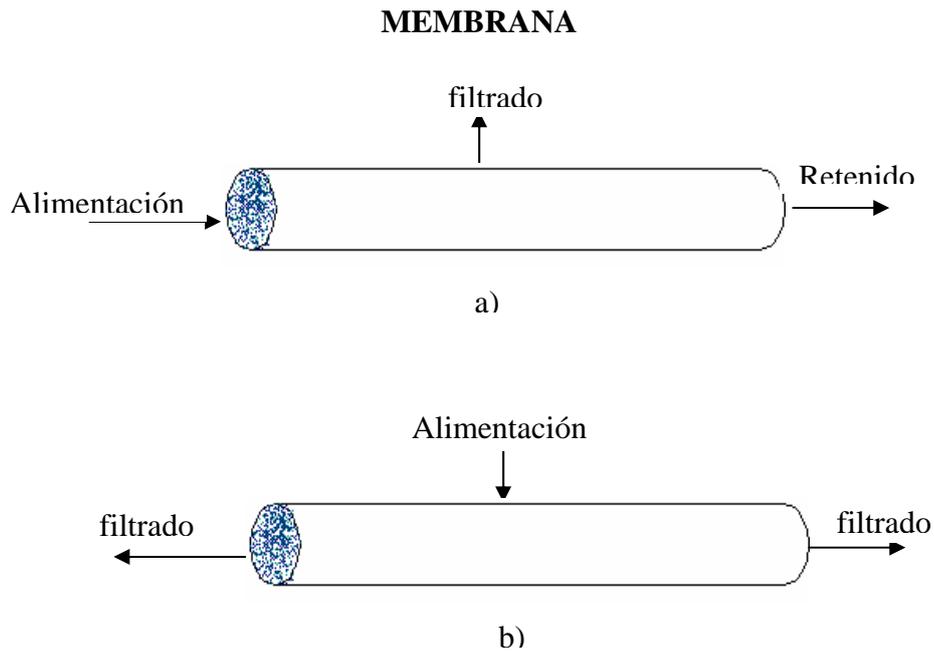


Figura 6. Configuración de la membrana a) flujo interior – exterior y b) flujo exterior – interior

Todas las membranas de fibra huecas operan bajo presión y están instalada dentro de conducto de presión que sirven para aplicar presión para la transferencia adecuada del líquido, la presión operativa típica es de 1-10 bar.

Las principales diferencia entre las membranas enrolladas y de fibra hueca se exponen en la tabla No 3.

Tabla No 3. Principales diferencias entre las membranas enrolladas en espiral y membranas huecas

No.	<i>Membrana enrollada en espiral</i>	<i>Membrana de fibra hueca</i>
1	Elevado costo de operación	Bajo costo de operación
2	Eliminan sales acuosa y iones metálicos	Rechazan virus, bacterias, materias orgánicas
3	Operan con presiones menores de 10 bar	Operan con presiones mayores de 10 bar

III.6.2 Procesos que utilizan membranas para el tratamiento de agua

Los procesos de membrana con aplicación a tratamiento de agua potable son la osmosis inversa (OI), Nanofiltración (NF), electro diálisis (ED), Ultrafiltración (UF), microfiltración (MF), termoósmosis (TO), diálisis (D), preevaporación (PV), osmosis (O) ^[12].

Estos procesos se pueden diferenciar según sus propiedades para remover contaminante como la fuerza de transporte que interviene en el proceso y su rango de exclusión de las partículas o compuestos que presentan problemas en la muestra.

a) Osmosis inversa:

Se utiliza principalmente para remover sales de aguas salobres o agua de mar, aunque la osmosis inversa es también capaz de un rechazo muy elevado de compuestos orgánicos sintéticos.

b) Nanofiltración:

Es el proceso de membrana más reciente desarrollado se usa para ablandar aguas y remover subproductos precursores de la desinfección.

c) Electrodialisis:

Este proceso es utilizado para desmineralizar agua salubre y para ablandar agua dura.

d) Diálisis:

Este proceso es utilizado en la separación de los colóides y cristaloides cuando están juntamente disueltos.

e) Preevaporación:

Este proceso es utilizado para ablandar agua dura a través de la eliminación de los carbonatos de calcio y magnesio.

f) Osmosis:

Este proceso es utilizado para remover sales de agua salobre.

g) Termoósmosis:

Este proceso es utilizado para ablandamiento de agua dura^[12].

h) Ultrafiltración y Microfiltración:

Se utilizan para remover, turbidez, agentes patógenos y partículas de agua brutas.

Una de las maneras de purificar agua que presente contaminación biológica es mediante procesos de microfiltración y de ultrafiltración a través de membranas de cerámicas porosas.

En estos procesos el agua contaminada es filtrada a través de una pared porosa, cuyo tamaño de poro determina qué partículas serán retenidas en el filtro.

Un material poroso tiene una estructura con agujeros microscópicos llamados poros que hace que el material sea permeable. El tamaño de los poros depende de la fabricación del material.

En microfiltración se utilizan membranas porosas con tamaños nominales de poro que van 1-0.1 μm , en ultrafiltración los tamaños de poros son menores de 0,1 μm .

En la figura 4 puede verse una representación de la membrana de cerámica y un esquema utilizadas en proceso de microfiltración. En este caso el líquido formado por moléculas puede atravesar los poros del material cerámico.

Algunas partículas de tamaño menor que el tamaño de los poros también atraviesan el material. Sin embargo, aquellas partículas que tienen un tamaño mayor que el tamaño de los poros no pueden atravesar la pared y quedan retenidas es decir, han sido filtradas separadas del líquido original por una cuestión de tamaño.^[13]

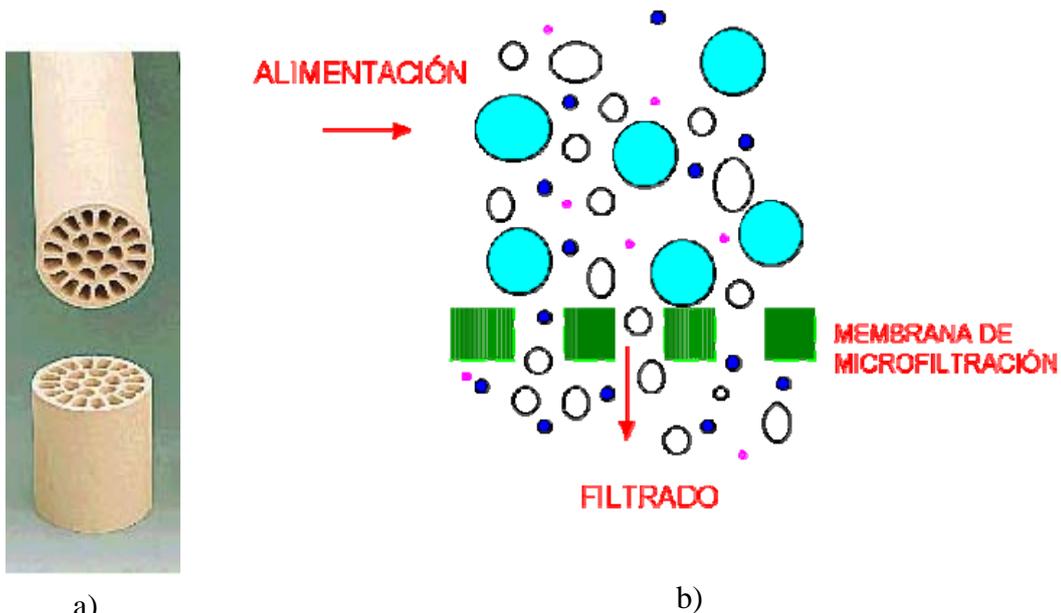


Figura 4. a) Representación de una membrana de cerámica, b) Esquema del proceso de microfiltración.

El proceso de ultrafiltración, esquematizado en la figura 5, es esencialmente el mismo que el anterior el líquido atraviesa la membrana a través de sus poros algunas partículas de menor tamaño que el de los poros también la atraviesan y ciertas partículas de mayor tamaño que el de los poros quedan retenidas en la membrana^[13].

La diferencia fundamental entre micro y ultrafiltración es el tamaño de los poros y por lo tanto el tamaño de las partículas que serán retenidas en cada proceso.

Si se tiene agua contaminada con bacterias y virus, las bacterias pueden ser separadas mediante microfiltración ya que tienen tamaños mayores que $0,2\mu\text{m}$; mientras que para eliminar los virus es necesario filtrar a través de membranas de ultrafiltración, porque los virus son más pequeños que las bacterias.

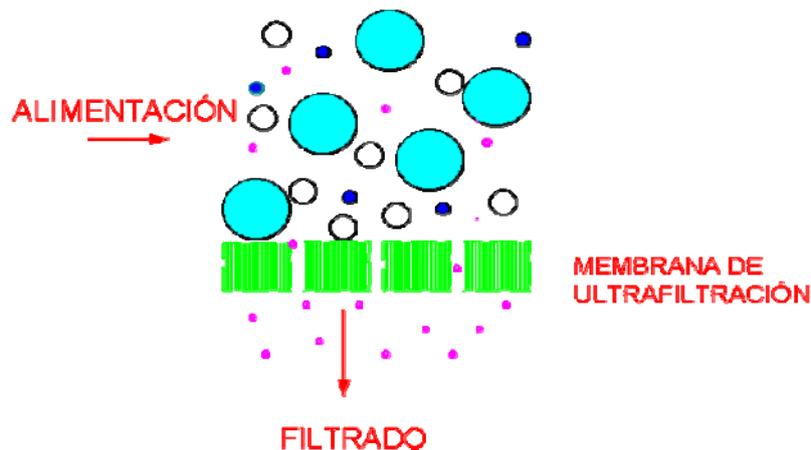


Figura 5. Esquema del proceso de ultrafiltración.

III6.3 Capacidad de las membranas para remover los contaminantes presente en el agua

Los rangos de tamaño aplicable para procesos de membranas se muestran en la tabla No 4.

Esta tabla nos muestra de forma directa la relación que existe entre el tamaño de las diversas materias presente en el agua y los procesos de filtración con membrana.

Estos procesos se cruzan unos con otro debido a que el tamaño relativo de las diversas materias presente en el agua no se localiza en un solo intervalo de aproximación molecular en μm .

El rango iónico en la tabla No 4. Comprende los solutos del agua potable tales como sodio, cloruro, dureza total, la mayoría de los sólidos disueltos totales y los más pequeños subproductos precursores de la desinfección (DBP) su aproximación molecular es 10^{-4} - 10^{-3} μm .

Los cuales pueden ser excluidos por procesos de osmosis inversa, electrodiálisis y nanofiltración.

El rango macro molecular ver tabla No 4. Comprende los grandes y pequeños coloides, bacterias, virus y color.

Este rango tiene un intervalo más grande y su aproximación molecular es 10^{-3} - 10 μm . Estas materias son rechazadas por procesos de ultrafiltración y microfiltración.

El rango de las micro partículas finas ver tabla No 4. Incluye las partículas productoras de turbidez, la mayoría de los sólidos en suspensión, quistes y grandes bacterias.

El intervalo en la aproximación molecular es 10 - 10^2 μm . Los procesos localizados en este intervalo son microfiltración y filtración convencional.

El rango macro partículas ver tabla No 4. Comprende algas, fango, materias en suspensión y arena.

El intervalo de este rango en la aproximación molecular es mayores de 10^2 μm .

Tabla No 4. Rango de tamaño de procesos y contaminantes de membrana

Tamaño micra	Rango iónico		Rango macromolecular		Rango de micro Partículas		Rango de macro partículas	
	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻² -10 ⁻¹	1-10	10 ²	10 ³	10 ⁴	
Aproximación Molecular μm	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻² -10 ⁻¹	1-10	10 ²	10 ³	10 ⁴	
Tamaño relativo de las diversa materias en el agua	Sales acuosa Iones metálico DBP	moléculas	virus Acido húmico coloides Materia orgánica natural	bacterias Arcilla Fibra de abesto	Algas Quiste Fango Materia en suspensión		Arena	
Prosesos	Osmosis inversa Nanofiltración electrodialisis					Filtración convencional		
			Ultrafiltración		Coagulación			
		Carbón activado				Arena carbón activado (gravilla)		

III.6.4 Clasificaciones de los procesos de filtración con membrana.

Algunos procesos pueden clasificarse por los tipos de materiales que rechazan, mecanismos según los cuales se producen el rechazo ver

tabla No 5. Y el tamaño de exclusión de soluto que se denomina a veces como tamaño o diámetro del poro.

Una osmosis inversa rechaza soluto tan pequeños como $0.0001\mu\text{m}$, lo que está en el rango iónico o tamaño molecular. Una membrana de nanofiltración rechaza soluto tan finos o diminuto como $0.001\mu\text{m}$ lo que está también en el rango de tamaño iónico y macromolecular. El transporte de masa de soluto en estos procesos es el de difusión controlada.

Las membranas de ultrafiltración y microfiltración tienen un tamaño de rechazo de soluto mínimo de $0.01\mu\text{m}$ y $0.1\mu\text{m}$ respectivamente. Estas membranas rechazan partículas coloidales, bacterias y sólidos en suspensión por exclusión de tamaño y el rechazo de contaminantes no es por difusión controlada. La presión acciona y promueve el transporte de agua a través de esta membrana.

La electrodiálisis confía en la carga eléctrica para la reparación del soluto e impulsa los iones a través de las membranas de electrodiálisis, así que no es afectada por el tamaño del poro.

Tabla No 5. Clasificación de los procesos de filtración con membranas

Tipos de procesos	Mecanismo de rechazo	Material rechazado
Osmosis inversa	Difusión controlada	Todos los solutos del rango iónico
Nanofiltración	Difusión controlada	Algunos del rango iónico y macromolecular
Ultrafiltración	Diferencia de presión	Partículas coloidales, bacterias y sólidos en suspensión
Microfiltración	Diferencia de presión	Partículas coloidales, bacterias y sólidos en suspensión
Electrodiálisis	Potencial	Todo tipo de iones (Na^+ , Cl^- Etc..)

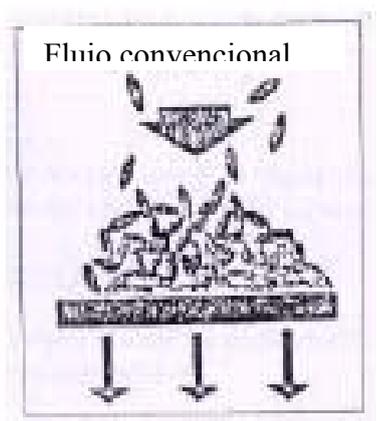
III.6.5 VENTAJAS DE LA FILTRACIÓN TANGENCIAL SOBRE LA FILTRACIÓN CONVENCIONAL (FRONTAL)

Las ventajas de la filtración tangencial, ver figura 3 (b), son las siguientes:

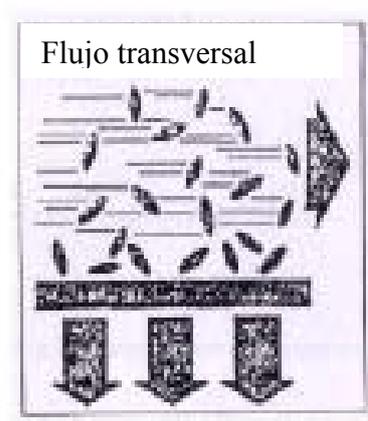
1. El agua de alimentación fluye tangencialmente en forma continua con respecto a la membrana. El filtrado se obtiene bajo el efecto de un gradiente de presión a través de la membrana.
2. Barrido continuo de la membrana evita la formación de un depósito, volviendo el proceso continuo. El colmatage es lento y la limpieza es un proceso fácil de realizar.

Desventajas principales:

1. Rápida formación de depósito que colmata la membranas.
2. El proceso se vuelve discontinuo, es necesario detener el proceso para realizar limpieza de la membrana.



a



b

Figura 3. Modelos de operaciones de las membranas a) flujo convencional frontal b) flujo tangencia

III.7 REGLAMENTACIÓN INTERNACIONAL MEDIOAMBIENTAL PARA LOS PROCESOS DE FILTRACION CON MEMBRANAS.

La norma internacional de tratamiento del agua superficial ha estado en efecto desde 1993 y fue desarrollada para reducir el potencial de contaminación patógena del agua potable. Esta exige que todos los procesos de membrana debe seguirse de una desinfección para asegurar la calidad del agua purificada antes de su utilización.

Adicionalmente se exige cumplir una norma *CT* es decir, tiempo de contacto (mg/litro de desinfectante x tiempo de contacto del desinfectante.)

En la tabla No 6.se presenta el tiempo de contacto, el *CT* exigido depende del desinfectante utilizado, agente patógeno tintado y parámetro de calidad de la agua^[12].

Tabla No 6 Valores de tiempo de contacto para 99.9% de eliminación de bacterias con cloro libre bajo condiciones seleccionadas^[12].

Temperatura, °C	5	5	20
Ph	7	9	7
C (mg/L)			
0.4	139	279	52
0.6	143	291	54
0.8	164	301	55
1	149	312	56
1.2	152	320	57
1.4	155	329	58
1.6	158	337	59
1.8	162	345	61
2	165	353	62
2.2	169	361	63
2.4	172	368	65
2.6	175	375	66
2.8	178	382	67
3	188	389	68

III.8. MODELOS DE FLUJO EN LOS PROCESOS DE FILTRACIÓN CON MEMBRANA ACTUADO POR DIFERENCIA DE PRESIÓN

Existen un modelo de flujo en los procesos de filtración con membrana actuado por diferencia de presión, este explica lo que sucede con el flujo de filtración y la presión^[14].

La observación del comportamiento de la microfiltración respecto a los parámetros más importantes (caudal permeado y presión) lleva siempre a unas tendencias como las que se muestran en la figura 7:

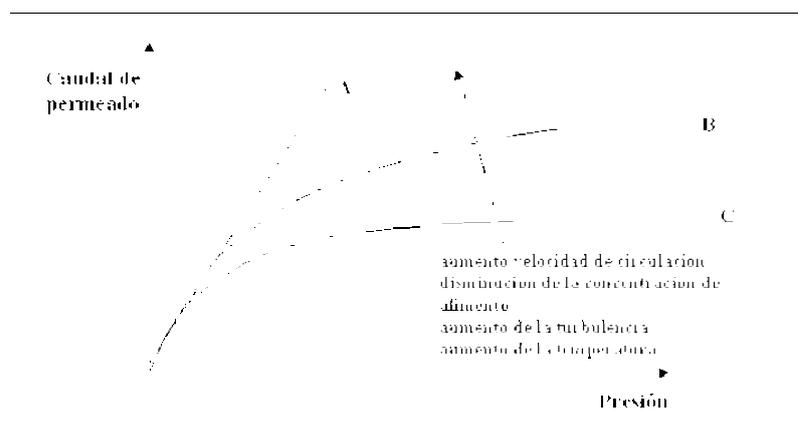


Figura 7. Gráfica diferencia de presión vs caudal en un proceso de microfiltración.

En este gráfico puede observarse que independientemente de cuales sean las condiciones de operación se diferencian claramente dos zonas extremas: Una zona donde existe una relación de proporcionalidad directa entre caudal permeado y presión aplicada y otra zona donde el caudal de permeado es constante independientemente de la presión aplicada.

Para cumplir con el objetivo de relacionar teóricamente el flujo de permeado (variable de interés) con la presión aplicada (variable básica de operación) va a ser necesario describir la microfiltración a nivel microscópico.

En síntesis se supone lo siguiente.

En el caso de que la presión sea lo suficientemente baja (inferior a una presión crítica determinada), podemos suponer que existe una capa de polarización. Es decir, la concentración de soluto disminuye desde la pared hasta el seno de la disolución de forma gradual.

A partir de la presión crítica se forma una especie de precipitado, un gel, de modo que un aumento de presión al sistema comporta un aumento del espesor de esta capa de gel que contrarresta el aumento de flujo que se produciría si tal capa de gel no existiera.

III.9 TRANSFERENCIA DE MASA EN FLUIDO

De las consideraciones sobre el transporte de masa en los proceso con membrana actuadas por presión se encuentran las siguientes.

Si la presión es la única fuerza actuante, como en microfiltración el caudal de agua a través de la membrana esta dada por la ecuación:

$$J = \frac{\Delta p}{\mu R_m}$$

Δp = Caída de presión a través de la membrana, bar.

μ = Viscosidad absoluta (del agua) Pa.s

R_m = Resistencia hidráulica m^{-1} .

El mecanismo de separación de los procesos con membrana asociados por presión pueden diferirse de otro, sustancialmente en los mecanismos por los cuales consiguen la separación, también conocida como rechazo.

La eficiencia de una membrana se determina por su selectividad y flujo.

El flujo es el volumen permeado por unidades de área y tiempo

$$F = \frac{V}{A t}$$

V = Volumen permeado, m^3 .

A = Area de la membrana m^2 .

t = tiempo de permeado s.

La selectividad se representa mediante dos parámetro:

1. Rechazo α debe ser próximo a la unidad.
2. Factor de separación que debe ser mayor que la unidad.

$$\alpha = \frac{\left(\frac{y_A}{y_B} \right)}{\left(\frac{x_A}{x_B} \right)}$$

El rechazo se define normalmente como 1 menos la relación de la concentración del permeado y de la corriente de alimentación. Este rechazo global R se calcula como:

$$R = 1 - \left(\frac{C_P}{C_F} \right)$$

C_p = Concentraciones del permeado mg/lit.

C_f = Concentraciones la alimentación mg/lit.

El valor de la retención de una muestra no tratada por la filtración con membrana es la unidad, cuando el valor de la retención de la muestra filtrada es próximo a uno este nos indica que las membranas tienen una buena eficiencia reteniendo en su totalidad las materias presente en la muestra.^[10]

Ley de Darcy

La ley de permeabilidad de Darcy rige el flujo de un líquido a través de un lecho poroso permeable.^[10]

$$J = \frac{B \Delta P}{e \eta}$$

J = Flujo volúmico del filtrado por unidades de superficie o densidad de flujo, $m^3 m^{-2} s^{-1}$

e = Espesor del lecho poroso, m

ΔP = Diferencia de presión entre la capa superior de la capa limite y el lecho poroso, Pa (10^5 bar)

η = Viscosidad dinámica del filtrado, Pa.s

B = permeabilidad del lecho poroso, m^2

e/B = Resistencia hidráulica del lecho poroso \otimes , m^{-1}

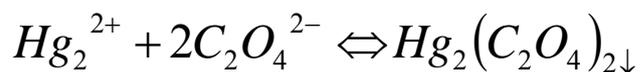
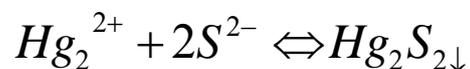
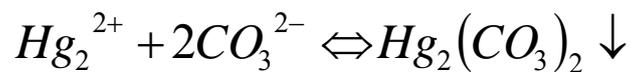
III.10 SEPARACIÓN DE SUSTANCIA CONTAMINANTE DEL AGUA MEDIANTE TÉCNICAS QUÍMICAS.

Estas técnicas permiten tratar las materias disueltas en general (pero no exclusivamente) los materiales minerales. Varios tipos de reacciones pueden intervenir

a) Precipitación

La adición de cierto compuesto (sulfuro, carbonato, oxalato) pueden permitir la eliminación de cierto compuesto tóxico o desagradable.

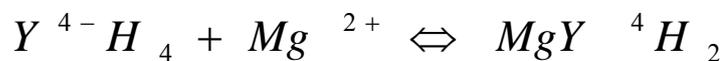
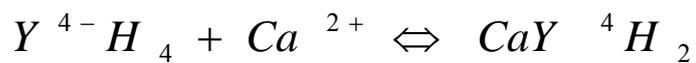
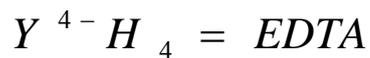
Reacciones de precipitación que involucra la eliminación de sustancias contaminantes del agua.



a) Complejación

La complejación dentro cierto casos permite la eliminación de producto nocivo (complejación de calcio, magnesio en agua dura o de cierto compuesto tóxico.)

Reacciones de complejación con EDTA que involucra la eliminación de calcio y magnesio en el agua.



b) Adsorción

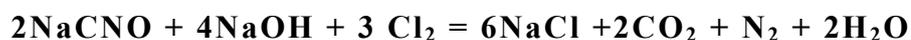
Esta técnica permite eliminar cierto compuesto desagradable (color, olor) o remplazarlo por otro no nocivo

La utilización de carbón activado es un tipo de compuesto empleado para la adsorción

c) Oxido-reducción

Esta técnica permite destruir cierto compuesto tóxico (cianuro, cromato) y modificar la solubilidad de cierto compuesto (deferrización, demanganización.)

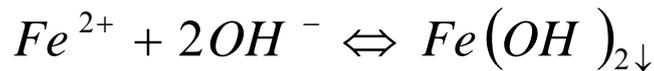
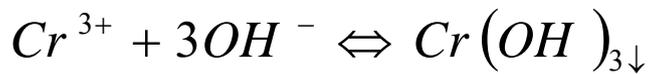
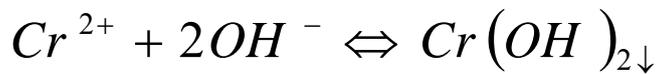
Reacciones oxido-reducción que involucra la eliminación de sustancias contaminantes del agua.



d) Ácido base

Esta técnica puede permitir no solamente neutralizar las soluciones ácida o básica, también igualmente insolubilizar cierto compuesto (precipitación de hidróxidos metálicos, eliminación de ácidos o bases volátiles.)

Reacciones ácido-base que involucra la eliminación de sustancias contaminantes del agua.



[7]

III.11 TECNICAS DE DESINFECCIONES DEL AGUA

La desinfección del agua es sin duda el arma más poderosa que puedan usar las autoridades encargada de la sanidad y el control de el agua en contra de la infecciones hídricas^[2]. En particular la cloración del agua conduce a una erradicación substancial de las enfermedades hídricas a un costo pequeño en equipo, material y personal.

La desinfección es un proceso diseñado para reducción del número de microorganismo patógenos. Un desinfectante debe ser capaz de matar en forma selectiva si es necesario aquellos organismos viviente que pueden difundir o transmitir infecciones a través del agua o en ella.

Para que sea de utilidad práctica los desinfectante del agua deben poseer las siguientes propiedades:

1. Debe destruir las clases y números de patógenos que se puedan introducir a las aguas, además hacerlo dentro de un lapso practicable de tiempo, de una esperada en la temperatura del agua y de las posibles fluctuaciones en composición concentración y condición de las aguas.
2. En las concentraciones requeridas no deben ser tóxicos al hombre o a sus animales domésticos, ni de sabor desagradable u objetable por alguna otra razón.

3. Deben ser aplicables a un costo razonable, ser seguros y fáciles de almacenar, transportar, manipular y aplicar.
4. Su concentración en el agua tratada debe ser determinable con facilidad, rapidez y de preferencia automáticamente.
5. Deben persistir en el agua desinfectada con la concentración suficiente para proporcionar una protección residual razonable contra la posible recontaminación del agua ante de utilizarla^[15].

El agua se puede desinfectar en una serie de formas categóricas entre las más prácticas de ella están el calor y la luz, así como los agentes químicos.

Desinfección por calor

La elevación de la temperatura del agua hasta su punto de ebullición le proporcionará la desinfección. Debido a que ningunas de las enfermedades hídrica peligrosa son causadas por bacterias formadoras de esporas o por otro organismo resistente al calor ésta constituye una práctica segura y recomendable cuando hay dudas sobre la seguridad del agua potable^[15].

Desinfección mediante la luz

La luz es un desinfectante natural, principalmente como agente desecante. La irradiación por la luz ultravioleta intensifica la desinfección y la convierte un agente controlable. La fuente más común de luz ultravioleta es una lámpara de vapor de mercurio de longitud de onda de 253.7 nm.

Para asegurar la desinfección el agua se debe encontrar libre de sustancias que absorben la luz, por ejemplo los compuestos fenólicos y aromáticos y de materia orgánica que interpongan una sombra a los organismos contra la luz.

Existen otras formas de energía radiante y sónica que destruyen los microorganismos, pero aun no encuentran una aplicación dentro de la ingeniería en la desinfección de aguas^[15].

III.11.1 Desinfección del agua a través de agentes químicos

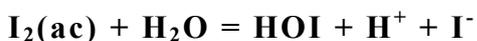
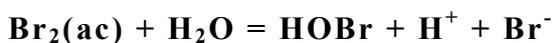
La exposición del agua, durante un lapso de tiempo suficiente a productos químicos de la siguiente clase en concentraciones adecuadas dará por resultado su desinfección.

1. Productos químicos oxidantes.

1.A. Los halógenos

Entre los halógenos el cloro gaseoso y una serie de compuesto de cloro son los más útiles económicamente. El bromo se utiliza a escala limitada para la desinfección de agua. El yodo se utiliza para la desinfección para pequeñas cantidades de agua.

Reacciones de algunos halógenos con el agua.



Tecnología química del cloro

En 1908, el cloro se utilizó por primera vez en la desinfección diaria permanente de un abastecimiento municipal de agua en América cuando George A. Johnson. Agregaron hipoclorito de calcio al suministro de agua de Jersey City N. Y.

Para que se pueda almacenar y embarcar en cilindro o tanques de acero, el cloro gaseoso se puede licuar a una temperatura ambiente a presiones de 5 a 10 atm. Una libra del líquido produce 5 pies cúbicos de gas. Bajo condiciones de uso la extracción de gas disminuye la temperatura del fluido almacenado. Para mantener constante la velocidad de extracción, la pérdida de calor debe compensarse desde el exterior.

La solubilidad del cloro gaseoso en agua es aproximadamente de 7300 mg/l a 20⁰C y 1atm.

El cloro gaseoso es un irritante altamente tóxico y se debe manejar con gran cuidado y salvaguardas adecuadas, su olor incipiente en aire es alrededor de 3.5 ppm en volumen las concentraciones de 30 ppm o más produce tos y las exposiciones por más de 30 min a concentraciones de 40 a 60 ppm son peligrosas.

Para uso de cloro en cantidades considerables, el cloro líquido constituye la forma más económica^[15].

Reacciones del cloro con el agua

La fuerza de los compuestos del cloro es decir su capacidad oxidante es expresada generalmente como cloro disponible.

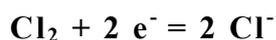
Cuando se añade cloro gaseoso o sus compuestos desinfectantes al agua se desprenden las siguientes sustancias:

1. Acido hipocloroso (HOCl), ion hipoclorito (OCl⁻), y cloro elemental (Cl₂) la distribución de las tres especies depende del pH. El cloro elemental procedente del cloro gaseoso, sólo perdura unos momentos pasajero dentro de la zona de pH normal. La dos especies prevalente son (HOCl, OCl⁻)

El cloro puede utilizarse como desinfectante en forma de gas comprimido a presión que se disuelve en el agua en el punto o lugar de aplicación, también puede utilizarse soluciones de hipoclorito sódico o hipoclorito cálcico sólido^[15].

Las tres formas son químicamente equivalentes a causa del rápido equilibrio que existe entre el gas molecular disuelto y los productos de disociación de los compuestos de hipoclorito.

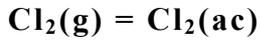
Semirreacciones de reducción del cloro.



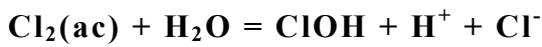
La auto descomposición del hipoclorito a clorato esta muy favorecida por el siguiente proceso.



La disolución de cloro gaseoso para formar cloro molecular disuelto es expresable como fase en equilibrio:



El cloro acuoso disuelto reacciona con el agua para formar ácido hipocloroso, iones cloruros y protones como se indica en el siguiente equilibrio:



El ácido hipocloroso es un ácido débil y puede disociarse en:



Se puede observar en la figura 9. que las propiedades ácido-base del cloro o de las sales de hipoclorito dará por resultado una pérdida o ganancia respectivamente de alcalinidad y una reducción o aumento respectivamente de pH, como también podrá observarse que existe un pH de predominancia de cada especies, a pH menores de 7.5 predomina el ácido hipocloroso y a pH mayores de 7.5 predomina el ion hipoclorito

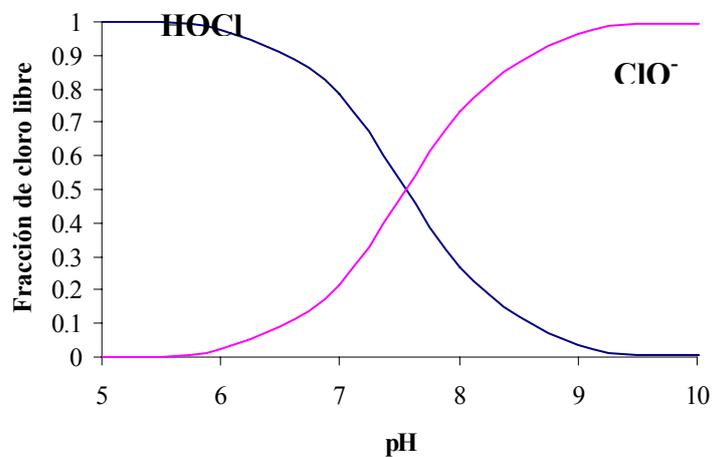


Figura 9. Distribución del ácido hipocloroso y el ion hipoclorito en agua a diferentes valores de pH.

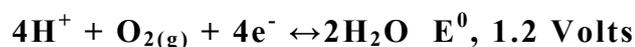
Diagrama E-pH de las especies del cloro en medio acuoso

En el diagrama E-pH, figura No 10. Se puede observar los dominios de estabilidad de todas las especies involucrada en el sistema de cloro acuoso con una concentración total de cloruro de $1 \cdot 10^{-4}$ M.

Este diagrama se graficó encontrando las ecuaciones de Nernts en función de pH para cada equilibrio redox empezando desde las especies más oxidante.

En la línea 1, si E se encuentra sobre esta a un pH determinado el agua se oxida a oxígeno y predomina el oxígeno gaseoso sobre el agua. A un pH determinado si E se encuentra entre la línea 1 y 2 el agua es estable.

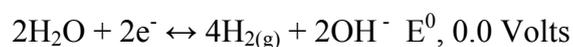
La semirreacción de redox y su ecuación de Nernts son las siguiente:



$$E = 1.2 + \frac{0.059}{4} \times \text{Log} \left(\frac{(\text{H}^+)^4 (\text{O}_{2\text{g}})}{(\text{H}_2\text{O})^2} \right)$$

$$E = 1.2 - 0.059 \text{ pH}$$

En la línea 2 a un pH determinado y a la presión de $\text{H}_{2(\text{g})}$ de 1 atm si E está sobre esta línea el agua es estable, mientras que si se encuentra por debajo de ella el agua se reduce a hidrógeno gaseoso. La semirreacción redox y su ecuación de Nernts son las siguiente:

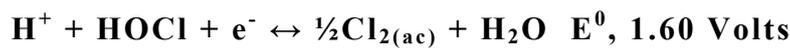


$$E = 0.0 + \frac{0.059}{2} \text{Log} \left(\frac{(H_2O)^2}{(H_{2g})^4(OH^-)^2} \right)$$

$$E = 0.826 - 0.059pH$$

En la línea 3 si E está sobre esta y el pH es menor que cero el cloro acuoso se oxida a ácido hipocloroso y predomina este sobre el cloro acuoso mientras tanto si el E se localiza en la línea y siempre a pH menores de cero el cloro acuoso es estable.

Cuando el pH es cero el cloro acuoso se dismuta en ácido hipocloroso y cloruro a pH mayores de cero el ácido hipocloroso se reduce a cloruro acuoso. La semirreacción redox y su ecuación de Nernts son las siguiente:



$$E = 1.60 + 0.059 \times \text{Log} \left(\frac{(H^+)(HOCl)}{(Cl_{2(ac)})^{1/2}(H_2O)} \right)$$

$$E = 1.60 - 0.059pH$$

En la línea 4 el E es independiente del pH si E está sobre esta y el pH es menor que cero el cloro acuoso es estable, entre tanto, si se encuentra por debajo de la línea el cloro acuoso se reduce a iones cloruros. La semirreacción redox y su ecuación de Nernts son las siguiente:



$$E = 1.39 + \frac{0.059}{2} \times \text{Log} \left(\frac{(Cl_{2(ac)})}{(Cl^-)^2} \right)$$

$$E = 1.39$$

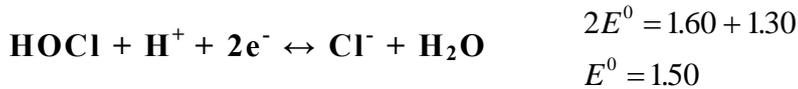
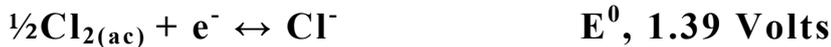
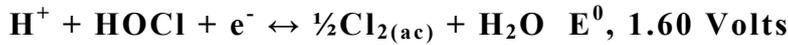
La línea 5 es una línea vertical y las especies predominantes no dependen de E y el pH es igual a su pKa, con la discrepancia que a pH menores que el pKa la especie que predomina es el ácido hipocloroso y a pH mayores que el pKa la especie que predomina es el hipoclorito. La reacción de equilibrio y su ecuación son las siguientes:



$$K_a = \left(\frac{(\text{H}^+)(\text{OCl}^-)}{(\text{HOCl})} \right) \quad \text{cuando } (\text{HOCl}) = (\text{OCl}^-), \quad K_a = (\text{H}^+)$$

$$\text{pH} = 7.5$$

En la línea 6 si E se encuentra sobre esta en un intervalo de pH (0-7.5) los iones de cloruros se oxidan a ácido hipocloroso y este predomina sobre los iones de cloruros si E se encuentra en la línea los iones de cloruros son estables. La semirreacción redox y su ecuación de Nernst son las siguientes:



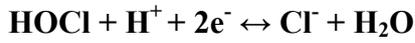
$$E = 1.50 + \frac{0.059}{2} \text{Log} \left(\frac{(\text{HOCl})(\text{H}^+)}{(\text{Cl}^-)(\text{H}_2\text{O})} \right)$$

$$E = 1.50 - 0.0295 \text{pH}$$

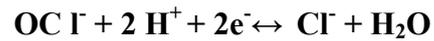
En la línea 7 si E se encuentra sobre esta en un intervalo de pH (7.5-14) los iones de cloruros se oxidan a hipoclorito y este predomina sobre los iones de cloruros si E se encuentra en la línea los iones de

cloruros son estable. La semirreacción redox y su ecuación de Nernts son las siguiente:

$$\underline{\Delta G^0 = nFE^0}$$



$$E^0 = \frac{79.4}{2F} = +1.72$$



$$E = 1.72 + \frac{0.059}{2} \text{Log} \left(\frac{(\text{H}^+)^2 (\text{OCl}^-)}{(\text{Cl}^-) (\text{H}_2\text{O})} \right)$$

$$E = 1.72 - 0.059 \text{Log } pH$$

DIAGRAMA E-pH DEL CLORO EN MEDIO ACUOSO

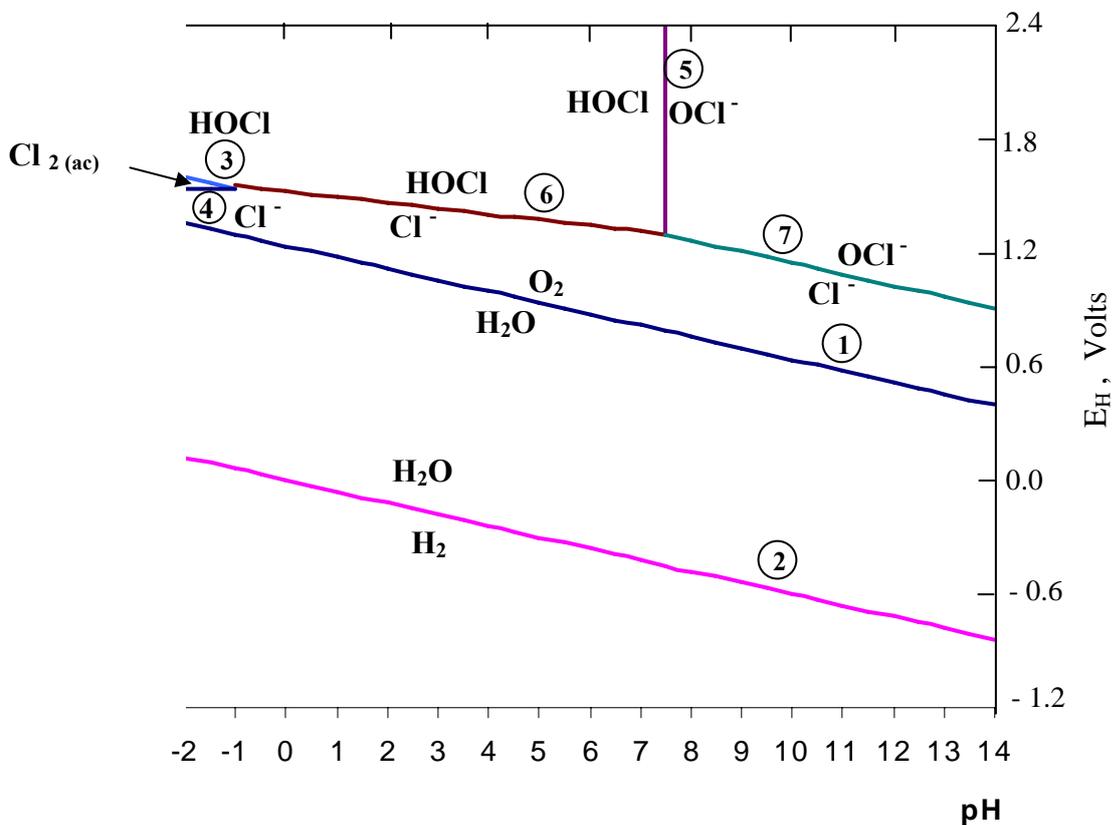


Figura 10. diagrama E-pH para cloro acuoso $C_T, Cl^- 1 \cdot 10^{-4} M$

Curva de demanda del cloro

Al aplicar cloro a una agua que contiene agentes reductores, amoníaco y aminos orgánicas, si se mide y se construye una gráfica de la dosis aplicada contra los residuales obtenidos resulta una curva semejante a la de la figura 11 comúnmente conocida como curva de demanda de cloro.

En dicha curva se observa un incremento inicial en los residuales de cloro seguido de una declinación y luego finalmente de otro incremento, a partir de un punto conocido como punto de quiebre.

Inicialmente se satisface la demanda inmediata de cloro, a continuación las monocloraminas y dicloraminas aumentan, pero luego disminuyen.

El segundo incremento se presenta a partir del punto de quiebre y cualquier cloro agregado produce residuales de cloro libre.

El análisis de la curva de demanda de cloro permite hacer las observaciones siguientes.

A-B:

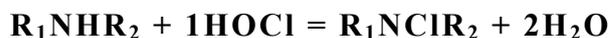
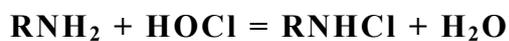
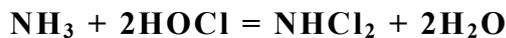
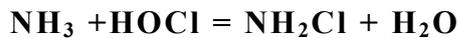
El cloro reacciona inicialmente con los agentes reductores presentes y no forma un residual detectable. La dosis de cloro en el punto B representa la cantidad de cloro requerida para satisfacer la demanda ejercida por los agentes reductores del agua.

B-C:

Una vez satisfecha la demanda ejercida por los agentes reductores o demanda inmediata de cloro, éste reacciona con todo el amoníaco y las aminas orgánicas presentes para formar un residual de cloro combinado.

Cuando todo el amoníaco y las aminas orgánicas han reaccionado con el cloro empieza a formarse un residual de cloro libre. A una cierta concentración crítica punto C, la concentración de cloro libre es lo suficientemente alta como para oxidar las cloraminas.

A continuación se presentan las reacciones del amoníaco y aminas orgánicas con cloro.



Donde R_1 y R_2 pueden ser grupos alquilos.

C-D:

Oxidación de cloraminas:



La destrucción de las cloraminas reduce el cloro residual y es acompañada por la formación de óxido nitroso, nitrógeno y tricloruro de nitrógeno.

D:

Una vez completa la oxidación de los compuestos susceptible de ser oxidados por el cloro, todo el cloro agregado desarrolla un residual de cloro libre. El punto D en el cual la oxidación de los productos del amoniaco es completa, se conoce como punto de quiebre^[16].

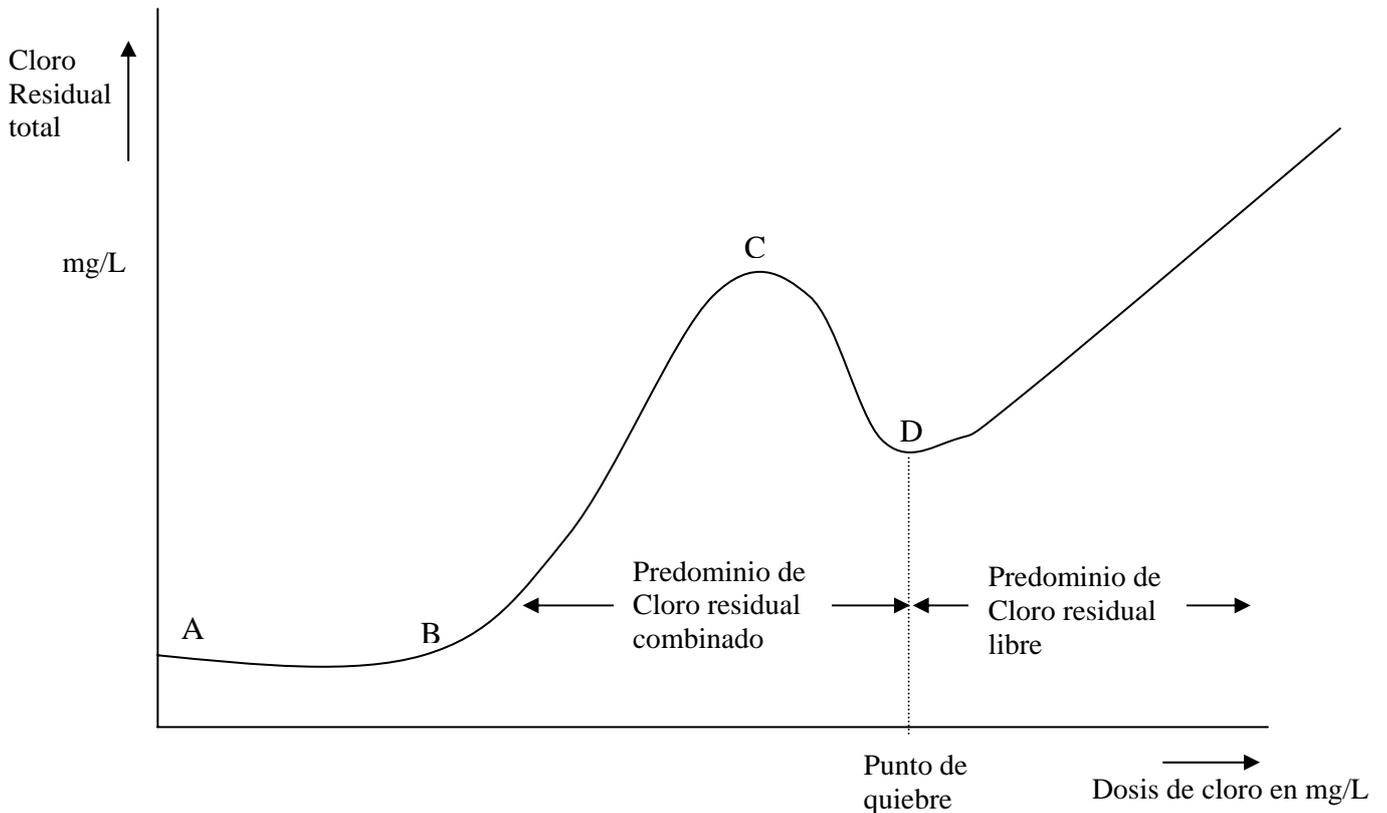


Figura 11. Curva de demanda de cloro

Teoría de la desinfección química del agua con cloro

Las especies de desinfectantes del cloro reaccionan con las enzimas que son esenciales para los procesos metabólicos de los microorganismos. Debido a que las enzimas se generan dentro del plasma de la célula de los microorganismos, la desinfección química procede teóricamente en dos etapas:

- 1) Penetración de la pared de la célula
- 2) Reacción con las enzimas celulares

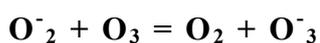
1.B. El ozono

Es un buen desinfectante pero relativamente costoso, generalmente no deja un residual indicador medible sin embargo tiene a su favor su habilidad para destruir una serie de olores desagradables y blanquear el color de forma efectiva^[12].

Este es muy inestable en soluciones acuosa, es muy reactivo con un número de constituyente del agua y también se descompone según un proceso espontáneo denominado auto descomposición.

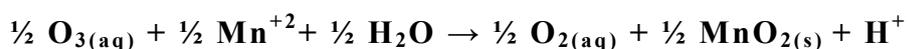
Este es un proceso complejo de reacción en cadena implicando a varias especie de radicales libre. La descomposición se puede iniciar por un número de diferentes constituyente acuoso como el ion hidróxido, valores altos del pH, material orgánico natural y hierro ferroso^[12].

A continuación se presenta un esquema de auto descomposición del ozono cuando el ion hidróxido es el indicador



Estas reacciones constituye un mecanismo en cadena, ya que el radical hidropersito (HO_2) y el ion superóxido(O_2^-) producido por la iniciación de la reacción generan nuevas reacciones en cadena que contribuyen más a la descomposición del ozono^[12].

Reacción del ozono con otras sustancias presente en el agua

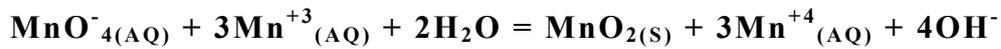
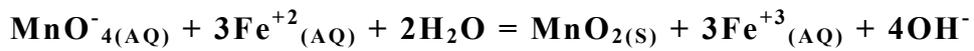


1.C. Permanganato de potásico

El permanganato potásico (KMnO₄) ha sido utilizado por décadas esta comercialmente disponible en forma cristalina o bien se alimenta en soluciones directas usando un alimentador químico.

Sus principales aplicaciones son la oxidación de Fe, Mn, eliminar cierto olores y sabores^[12]

Reacciones del permanganato potásico con Fe y Mn presente en el agua



1.D. Iones metálicos

Los iones de plata no son viricida en concentraciones aceptable, pero son bactericidas es lenta la desinfección a las concentraciones baja empleada como 15µg/L, esto constituye una debilidad de la plata, además la plata es costosa a las concentraciones que se utiliza.

Las tabla No 7. presenta las ventajas y desventajas de los agentes químico oxidante como desinfectante del agua.

En esta se puede observar que dentro de ellos se encuentran el cloro y ozono con mejores ventajas sobre el resto de los agentes químicos sin embargo en la realidad la desinfección de las aguas por agente químico en los países subdesarrollado se realiza con el agente cloro por ser barato y fácil aplicación.

Aunque sus subproductos halogenados algunas veces sean perjudiciales para la salud humana cuando su uso es inadecuado. En cambio el ozono que es desinfectante fuerte su empleo se da solo en los países desarrollado por poseer tecnología más avanzada^[12].

Tabla No 7 Ventaja y desventaja generales de los oxidantes para tratamiento de agua.

Oxidante	Ventajas	Desventaja
Cloro	Fuerte Oxidante	Produce subproductos halogenados
	Fuerte desinfectante	Puede contribuir a problemas de sabor y olor
	Produce residuo persistente	
	Barato	
	Fácil de usar	
Ozono	Oxidante muy fuerte	No produce residuo desinfectante persistente
	Desinfectante muy fuerte	
	Efectivo para sabor y olor	
	No produce subproductos halogenados	Relativamente costoso
	Puede ayudar en coagulación y floculación	
Permanganato	Fácil de alimentar	Produce MnO ₂ que debe ser removido
	Efectivo para oxidación de Fe y Mn	Puede llevar una agua alcalina si la dosis no se controla cuidadosamente
	No produce subproductos halogenados	Limitada capacidad de desinfección

III.12 TECNICAS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DEL AGUA.

La materia orgánica puede ser oxidada o reducida por vía biológica, en los dos casos la degradación de materia orgánica produce gases que escapan y lodo que se pueden filtrar existe dos tipos de tratamiento biológico.

Tratamiento aeróbico

Este tratamiento es realizado en presencia de aire y la oxidación de materia orgánica produce ácido carbónico y desprendimiento de dióxido de carbono así como la formación de lodo activo esencialmente compuesto de bacterias vivas y muertas, esto es el sistema de laguna.

Tratamiento anaeróbico

En el tratamiento anaeróbico la materia orgánica son reducida a través de la restricción de aire produciéndose la formación de metano, lodo generalmente de menor importancia.

Este tratamiento anaeróbico no es admisible para efluentes fuertemente cargado este es utilizado para depurar lodo. Igualmente es posible el tratamiento de ciertos materiales minerales de este modo que los nitratos pueden ser reducido a nitrógeno gaseoso después de un tratamiento anaeróbico^[7]

IV PARTE EXPERIMENTAL

IV.1 MATERIALES Y REACTIVOS

EQUIPOS

1. Espectrofotómetro UV-VIS 1203 Pekín Elmer.
2. pH-metro LPH 230 Tacussel
3. Balanza analítica sartorius 2004 MP
4. Conductímetro Oakton Wd 35607-10
5. Turbidímetro. SHIMADSU X-69
6. Horno con regulador de temperatura Cutb binder 1511530000202
7. Autoclave. 25 X-1
8. Planta piloto de tratamiento de agua.
9. Incubadora Boekel modelo 131400

MATERIALES

1. Platos petri.
2. Papel filtro milipore 0.45 μm
3. Tubos de ensayo.
4. Mechero.
5. Termómetro.
6. Frasco de vidrio con tapón esmerilado 250 y 500 ml, Pirex
7. Beacker de 50, 100, 1000, 5000 ml, Pirex
8. Erlenmeyer de 250 ml, Pirex
9. Probeta de 10, 100 ml, Pirex
10. Balones aforado de 100, 500 y 1000 ml, Kimax
11. Bureta de 50 ml, Kimax
12. Cápsula de porcelana
13. Goteros pasteur
14. Embudo para filtrar.

REACTIVOS:

- a) Hipoclorito de sodio 3.75% (Comercial).

- b)** Tiosulfato de sodio pentahidratado. 99% (Merck)
- c)** Ácido acético concentrado 100% (Merck)
- d)** Yoduro de potasio 9.5% (Merck)
- e)** Almidón soluble, grado reactivo (Merck)
- f)** Nitrato de potasio. 99% (Merck)
- g)** Ácido clorhídrico concentrado 37.5% (Merck)
- h)** Cloruro de bario dihidratado 99.5% (Merck)
- i)** Sulfato de potasio 99% (Merck)

IV.2 METODOLOGIA

Ante de la realización de la filtración tangencial con filtro de cerámica y análisis físico-químico y microbiológico del agua tratada y sin tratar se procedió a la elaboración de un diseño para el montaje de una planta de tratamiento de agua por filtración tangencial con membrana de cerámica.

Para la elaboración de estas se consto con el apoyo en material de parte de la empresa ENACAL y nuestro departamento de química, el filtro de cerámica y la bomba centrifugadora de agua y parte de accesorios empleado en este trabajo monográfico se obtuvo de una cooperación de la Escuela Nacional Superior de Química de Francia a través del Dr. Gustavo Delgado tutor de la monografía.

Se realizó un estudio de la eficiencia del sistema de filtración a través del parámetro de retención de las membranas realizándole análisis fisicoquímico y microbiológico al agua antes y después de ser filtrada

Luego se determinó la demanda de cloro del agua filtrada finalmente se realizó un tratamiento con solución de hipoclorito de sodio al agua para evitar una recontaminación de esta.

IV.2.1 Muestreo de agua.

El muestreo se realizó en el río Tamarindo de la comarca Tamarindo; se seleccionaron los lugares de muestreo de tal manera que fuera representativa del agua de toda la comunidad.

Se tomaron muestra para dos tipo de análisis microbiológicos y fisicoquímicos

Antes de realizar la toma de muestra para el analisis microbiológico los frascos de (250ml) esterilizados se enjuagaron con solución de Tiosulfato de sodio diluido para preservar cualquier tipo de microorganismo presente en la muestra de trazas de cloro.

Para el análisis fisicoquímico antes de tomar la muestra no hubo necesidad de realizar ningún tratamiento a los recipientes de (1 gln) excepto su ya esterilización.

La toma de muestra de agua en el río se realizó a una cierta distancia de la orilla aproximadamente (30cm). Y se sumergieron los recipientes aproximadamente (20cm) en el río, estos se enjuagaron por triplicado con la misma agua del río luego se llenaron y se taparon.

Para cada muestreo se etiquetaron los frasco de la siguiente manera

Fecha

Hora

Temperatura

pH

IV.2.2 Lavado y esterilización de materiales volumétricos y planta de filtración

Para el análisis bacteriológico

Se lavó el material de vidrio con detergente y suficiente agua potable dejándolo escurrir. Luego se envolvieron con papel de aluminio y fueron introducidos dentro de un autoclave por dos horas a una temperatura de 110 °C y una presión de 20 atm. En seguida se dejó escurrir sobre una toalla; estando estos secos se paso almacenarlo protegiéndolo de polvo y la contaminación.

Para el análisis Físico-químico

Los materiales volumétricos de plástico y vidrio se lavaron con detergente y suficiente agua potable y luego con una solución de hipoclorito de sodio 1 ppm se enjuagó posteriormente con agua destilada. Se hizo circular una solución de hipoclorito de sodio 1 ppm por el sistemas de filtración varias veces, a continuación se hizo circular por el sistema agua potable.

IV.2.3 Procedimiento para la filtración tangencial

El siguiente procedimiento está basado en el sistema que se muestra en la figura No. 12.

- 1) Se midió un volumen de 30 L de la muestra de agua y se transfirió al recipiente I de 40 L de capacidad
2. Se conectó la bomba centrifugadora a la fuente de energía eléctrica de 110 V.
3. Se abrieron todas las válvulas de pases A, B, C y D del sistema de filtración, asegurándose que las válvulas E, F, G y H del sistema de recirculación estén cerradas.
4. Se presionó el interruptor de la bomba centrifugadora.
5. Se establecieron los diferentes cambios de presión manipulando la válvula de pase B que se encuentra ante del manómetro obteniéndose varios flujos filtrados.
6. Se midió el volumen del flujo filtrado en un beaker de 5000 ml y cronometrarlo.
7. Se realizaron varias lecturas a diferentes presiones con su respectivos caudal de filtración.

IV.2.4 Procedimiento de limpieza de la membrana

- 1) Se midió un volumen de 30 L de la muestra de agua y se transfirió al recipiente II de 40 L de capacidad
- 2) Se conectó la bomba centrifugadora a la fuente de energía eléctrica de 110 V.
- 3) Se abrieron todas las válvulas de pases del E, F, G y H sistema de filtración, asegurándose que las válvulas A, B, C y D del sistema de filtración estén cerradas.
- 4) Se presionó el interruptor de la bomba centrifugadora.
- 5) Se realizó tres veces el procedimiento.

IV.2.5 Análisis físico-químico del agua filtrada y no filtrada

Sólidos Totales (Método gravimétrico)

Procedimiento

- a) Se pesó en una balanza el peso de un crisol seco, se anotó el peso.
- b) Se adicionó a el crisol 50 ml de la muestra en estudio.
- c) Se colocó el crisol en baño María hasta evaporación total; se colocó el crisol vacío en un horno a 103°C durante 1 hr. Se dejó enfriar a temperatura ambiente en un desecador de vidrio conteniendo cloruro de calcio como desecante.
- d) Se pesó nuevamente el crisol y este peso se anoto.

Sólidos volátiles (Método gravimétrico)

Procedimiento

El procedimiento es igual que en sólidos totales, se diferencia en que la muestra ha sido previamente filtrada.

1. Se filtró en un embudo con papel filtro 50 ml de muestra.
2. Se pesó en una balanza el peso de un crisol seco, se anotó el peso.
3. Se adicionó a el crisol 50 ml de la muestra filtrada.
4. Se colocó el crisol en baño María hasta evaporación total; se colocó el crisol vacío en un horno a 103°C durante 1 hr. Se terminó de enfriar a temperatura ambiente en un desecador de vidrio conteniendo cloruro de calcio como desecante.
5. Se pesó nuevamente el crisol y este peso se anoto.

Turbidez (Método turbidimetro)

Procedimiento

- a) Se adicionó en viales de 10 ml la muestra de agua en estudio, luego este se secó con papel toalla.
- b) Se colocó el vial en la celda y se leyó la lectura de turbidez.

Sulfato (Método espectrofotométrico)

Procedimiento

Preparación de reactivos

- a) Solución acondicionadora: se disolvieron 15 g de NaCl en 55 ml de agua destilada, luego se adicionaron 6 ml de HCl conc. Más 20 ml de etanol absoluto y 10 ml de glicerol con continua agitación, hasta disolverse totalmente el NaCl. Se guardó en un frasco oscuro en el que es estable por 2 semanas.

- b) Solución estándar de sulfato (100 mg/l) se disolvieron 0.1479 g de sulfato de sodio anhidro en 500 ml de agua destilado en un balón aforado de 1 L y se aforó a la marca.

Procedimiento

- a) Se preparó una serie de soluciones estándares por dilución de 5, 10, 20, 30, 40, 50 ml de solución estándar de sulfato aforándola a 100 ml. Estas soluciones contenían 5, 10, 20, 30, 40, 50 mg/l respectivamente.
- b) Se transfirió cada muestra de los estándares, muestra y un blanco con agua destilada a erlenmeyer de 250 ml.
- c) Se adicionaron 5 ml de reactivo acondicionador con una pipeta volumétrica a cada estándar, muestra y blanco.
- d) Se agregaron 0.2 g de $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ a cada erlenmeyer y se agitaron por 60 segundo con agitador magnético.
- e) Se procedió a la lectura inmediata de cada blanco, estándar y muestra en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 420 nm.

Nitrato (espectrofotométrico ultravioleta selectivo 220-275 nm)

Preparación de reactivos

- a) Solución estándar de nitrato (100 mg/l) se disolvió 50 mg de nitrato de potasio en 250 ml de agua destilada en balones aforados de 50 ml y se aforó a la marca.

Procedimiento

- a) Se preparó una serie de soluciones estándares por dilución de 0.0, 1.0, 2.0, 2.5, 5.0, 10.0 ml de solución estándar de nitrato en 6 balones aforado de 50 ml y se completó con agua destilada hasta el enrase. Estas soluciones contenían 2, 4, 5, 10, 20, 30 mg/l respectivamente.
- b) Se transfirió cada estándar, muestra y un blanco con agua destilada erlenmeyer de 250 ml por separado.
- c) Se adicionaron 1 ml de HCl 1N con una pipeta volumétrica a cada estándar, muestra y blanco.

- d) Se procedió a la lectura inmediata de cada blanco, estándar y muestra en el espectrofotómetro primero a una longitud de onda de 220 nm y luego a 275 nm.

pH

Procedimiento

- a) Se calibró el pH-metro con buffer estándar de pH 7.0 y 9.0
- b) Se adicionó 50 ml de la muestra de agua en estudio a un beaker, luego se estabilizó su temperatura a 25 ° c en un baño de hielo.
- c) Se midió el pH de la muestra.

Conductividad

Procedimiento

- a) Previo a las mediciones de conductividad se calibró el equipo según su manual con solución de KCl.
- b) Se adicionó en unos viales, 10 ml de la muestra de agua en estudio; se estabilizó su temperatura a 25 ° c en baño de hielo, se midió la conductividad.

Determinación de cloro (método yodo métrico)

Preparación de reactivos

Tiosulfato de sodio (0.025 N)

- a) Se pesaron 1.55 g de Tiosulfato de sodio pentahidratado se disolvió con un poco de agua, se aforó finalmente a 250 ml, adicionándole además 2.5 ml de cloroformo como preservativo.

Yoduro de potasio KI (100%)

- b) Se disolvieron 100 g de Yoduro de potasio en una porción de agua destilada y se aforó a 100 ml (1 ml=1 g)

Almidón al 1%

- c) Se disolvió 1 g de almidón en 100 ml de agua hirviendo, se hirvió hasta que se logró una completa disolución del almidón y luego se enfrió a temperatura ambiente.

Procedimiento para determinar la concentración del cloro comercial utilizado.

- a) Se colocó en un balón de 1000 ml de capacidad 50 ml de agua destilada, se le adicionó 10 ml de cloro comercial y se aforó a 1000 ml.
- b) Se tomaron 10 ml de la solución (a) y se colocaron en un erlenmeyer de 200 ml de capacidad.
- c) Se adicionaron 5 ml de ácido acético concentrado para acidificar la muestra.
- d) Se adicionó 1 ml de KI al 100 % y se agitó.
- e) Se tituló con tiosulfato de sodio pentahidratado 0.025 N, hasta casi desaparición del color amarillo
- f) Se agregó 1 ml de solución de almidón al 1 % y se continuó titulando hasta desaparición del color azul.

Determinación de la demanda de cloro del agua filtrada

Procedimiento

1. En una serie de 5 frasco de tapón esmerilado numerados se introdujo 50ml de agua a tratar.
2. Se añadió a cada uno de ellos con un cuenta gota mantenido en posición vertical un número de gotas correspondiente al número de frasco.
3. Se taparon los frasco.
4. Se dejaron en contacto durante 30 minutos agitándolos de principio a fin de la experiencia.
5. Se añadió a cada uno de los frascos 20 gotas de reactivo yoduro-almidón
6. Se agitó y anotó el número del primer frasco de la serie en que apareció una coloración azul.

IV.2.6 Análisis microbiológicos del agua filtrada y no filtrada

Detección de esporas clostridium sulfitos reductores

- a) En un tubo estéril se depositó 10 ml de agua problema, calentándolo hasta 80 °C por 30 min. en baño maría para destruir las formas vegetativas existente en la muestra.
- b) Se depositaron estos 10 ml de agua en un tubo conteniendo 10 ml de medio SPS doble concentrado.
- c) Se agitó y dejó solidificar y se cubrió con vaselina estéril.
- d) Se incubó a 28 °C y se revisó a las 24 hrs., si no había crecimiento se dejó por 4 a 5 días más.

Lectura: colonia negra

Resultado: presencia de clostridium

Detección de Coliformes totales

Prueba presuntiva técnica de siembra en masa

- a) En un plato petri estéril se depositaron 1 ml de agua muestra, adicionándoles 25 ml de medio VRBA, se mezcló y dejó solidificar.
- b) Se Incubó a 37 °C y se revisó a la 24 hrs.

Lectura: colonias rojo vino

Resultados: número de colonias formada.

Detección de Coliformes fecales

Prueba presuntiva técnica de siembra en masa

- c) En un plato petri estéril se depositaron 1 ml de agua muestra, adicionándoles 25 ml de medio VRBA, mezclándolo y dejándolo solidificar.
- d) Se incubó a 44 °C, revisándolo a la 24 hrs.

Lectura: colonias rojo vino

Resultados: número de colonias formada.

V RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

V.1 DISEÑO Y DESCRIPCION DEL PROCESO DE FILTRACION

Para la realización del diseño y montaje se tomaron en cuenta los dos modelos de flujo de la membrana (interior-exterior, exterior-interior) uno para el sistema de filtración y el otro para el sistema de limpieza de la membrana, el diseño se puede observar en la figura No.12.

La bomba succiona la muestra de agua contenida en el recipiente I, la cual es  conducida.() a través de una tubería de 1 pulgada de diámetro pasando por la válvula A, la bomba, válvula D, hasta llegar a la recámara del filtro luego ésta sale de la recámara dividiéndose en dos flujo, filtrado y remanente.

El flujo filtrado es conducido por la tubería pasando por la válvula E, hasta el recipiente II para el agua filtrada. El flujo remanente que es la parte del flujo que no se filtra, es recirculada pasando por la válvula F, hasta el recipiente I terminando de esta forma el proceso de filtración.

El proceso de retrolavado comienza a partir de la succión de agua limpia desde el recipiente ~~II~~,() pasando por la válvula B, bomba, válvula C, continuando hasta la recámara, luego desde ahí pasa a través del filtro, descolmatándolo de los materiales adherido saliendo estos por lo dos extremos de la membrana, hasta llegar a las válvulas G.H.

Este diseño se puede llevar a mayor escala fuera del laboratorio para el tratamiento de agua ante de su utilización como agua potable.

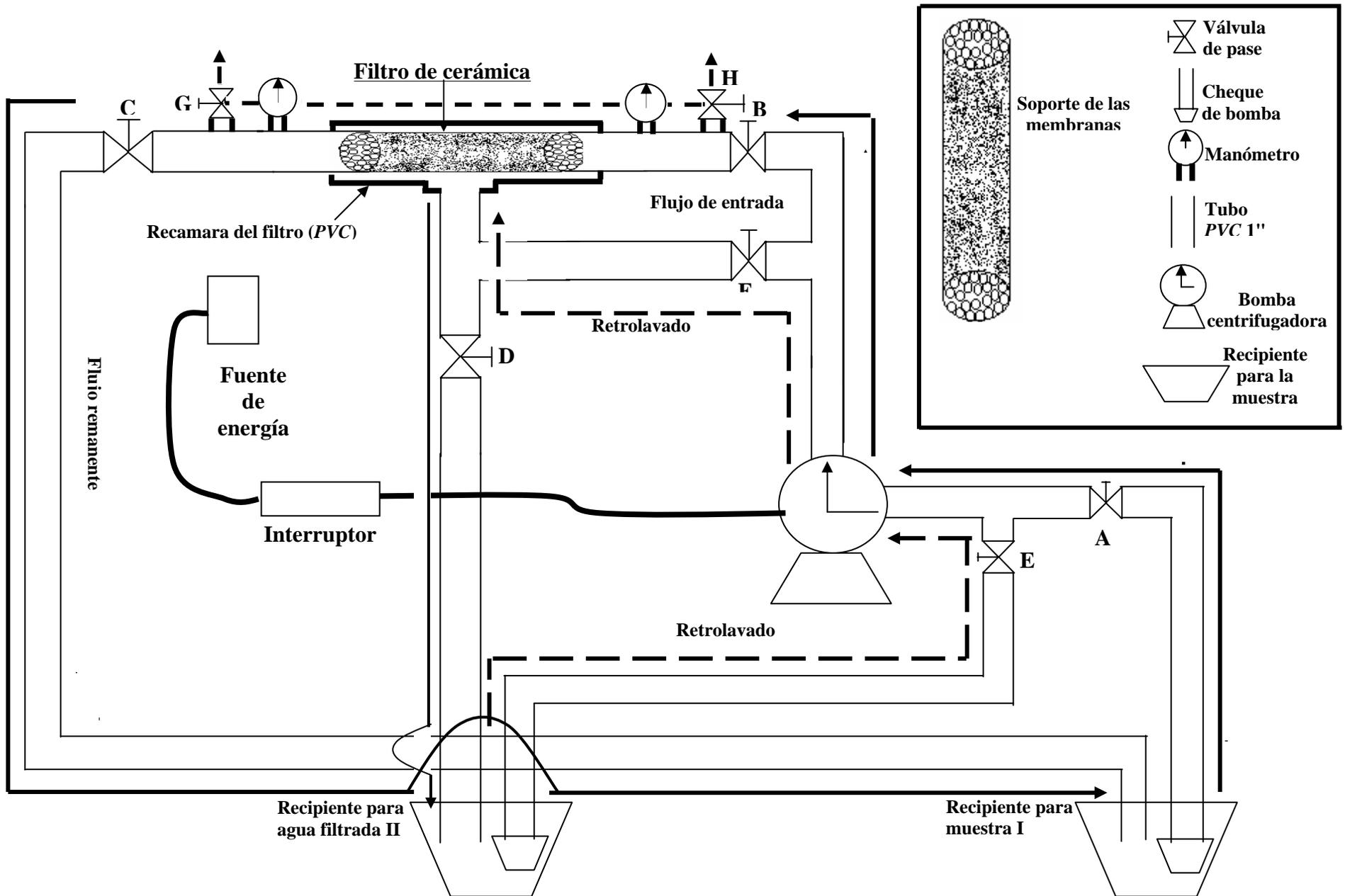


Figura No 12. Diseño del sistema de filtración tangencial con membrana de cerámica para el tratamiento de efluentes.

V.2 EVALUACIÓN DEL MODELO DE FLUJO EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN

Haciendo variar la presión de 0.0 a 2.0 bar se obtuvo lectura de estos con su respectivo caudal filtrado y remanente, los resultados obtenidos se presentan en la tabla No 8.

Tabla No 8 Resultados de la selección de los parámetros

Presión Ante Del Filtro bar	Presión Después Del Filtro bar	Diferencia De Presión bar*	Caudal Filtrado l/min	Caudal Filtrado l/m ² min **	Caudal Remanente l/ min	Caudal Remanente l/m ² min **
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.0	0.1	0.04	0.2	0.4	2
0.35	0.0	0.35	0.13	0.65	1.08	5.4
0.6	0.0	0.6	0.20	1.02	2.3	11.5
0.85	0.0	0.85	0.27	1.34	2.84	14.2
1.1	0.0	1.1	0.28	1.44	3.84	17.4
1.3	0.0	1.3	0.29	1.48	3.9	19.5
1.6	0.0	1.6	0.31	1.53	4.32	21.6
1.8	0.0	1.8	0.31	1.55	4.32	21.6
1.9	0.0	1.9	0.32	1.54	4.32	21.6

** Esta es la presión del flujo filtrado a la que se encuentra después de emerger del filtro. **La membrana tiene área de 0.2 m², el caudal es el volumen por unidades de área y tiempo.*

Si se grafican los valores de los caudales filtrados (L m⁻² min⁻¹) en función de la diferencia de presión (bar) se obtiene el gráfico como el de la figura No 13.

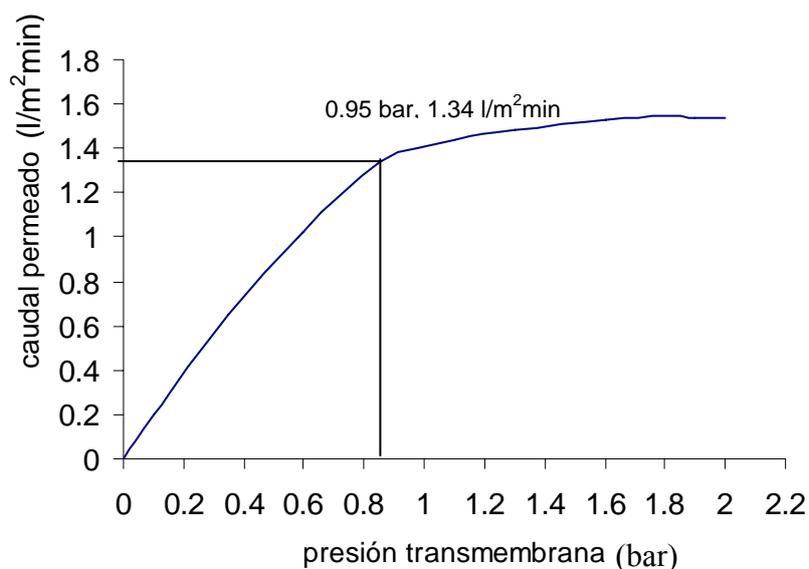


Figura No.13 Gráfico de caudal permeado vs diferencia de presión.

El comportamiento de este gráfico se puede explicar con la ecuación de flujo (J) de líquido a través de lechos porosos en función de la diferencia de presión en bar (Δp)

$$J = \frac{\Delta p}{\mu R_m}$$

Esta ecuación equivale a la ecuación de una recta con intercepto cero y cuya pendiente es función inversa de la viscosidad dinámica del filtrado Pa.s (μ) y de la resistencia $m^{-1} R_m$. Esta resistencia es igual a la relación entre e y B (e/B) donde (e) es el espesor del lecho poroso cuya unidad es el metro, y (b) es la permeabilidad del lecho poroso y su unidad es m^2 .^[10]

Esta ecuación predice que el caudal permeado aumenta linealmente con el incremento de la presión transmembrana; en el gráfico alcanza un máximo caudal permeado de 1.34 l/m²min a una presión de 0.95 bar.

Luego este caudal se vuelve independiente de la presión debido a la acumulación de materiales limitantes de la permeación cerca de la

membrana y un aumento de presión, que de otro modo incrementaría el caudal permeado a través de la membrana se equilibra instantáneamente con una acumulación de materiales.

En otras palabra el aumento en los términos de resistencia en del denominador de la ecuación de Darcy anula el aumento del Δp del numerador.

V.3 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL FILTRO A TRAVÉS DEL PARÁMETRO % RETENCIÓN DE LA MEMBRANA

Con el fin de evaluar la eficiencia de la membrana se midieron los parámetros, sólidos totales, turbidez antes y después de la filtración. Los resultados se pueden observar en la tabla No 9.

Tabla No.9 Resultados de análisis fisicoquímicos y % de retención.

	Agua sin filtrar.	Agua filtrada	% Retención *
Turbidez	641NTU	0.25 NTU	99
Sólidos totales.	623 mg/l	20 mg/l	98
Sólidos volátiles.	395 mg/l	27 mg/l	97
Sulfatos	7.11 mg/l	3.89 mg/l	45
Nitratos	2.83 mg/l	1.65 mg/l	42

$$* \%Retención = \left[1 - \frac{C_p}{C_f} \right] * 100 \text{ del agua filtrada, ver anexo.}$$

En la figura No 14 se presenta un diagrama de barras el %Retención y los diferentes componentes presente en la muestra de agua.

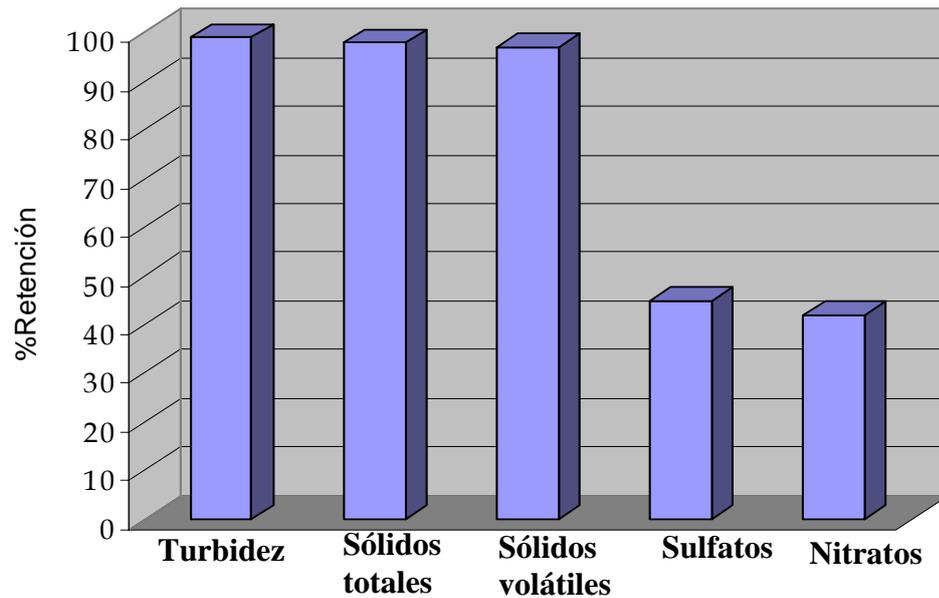


Figura No.14 Representación del % de retención de la membrana

Se puede observar claramente que los valores de % retención de las materias orgánicas e inorgánicas (turbidez, sólidos totales y sólidos volátiles) son proximo a 100%.

Esto se debe a que el tamaño de estas materias se encuentra el rango de $10-10^2\mu\text{m}$, ver tabla No 4. La cual incluye las partículas productoras de turbidez (la mayoría de los sólidos en suspensión, quiste y grandes bacterias).

Este rango de tamaño es mayor que el de la membrana utilizada que es $0.2\mu\text{m}$ por lo que es evidente que el proceso de filtración con membrana tiene la capacidad de retener dichos componente presente en la muestra de agua.

El % retención de sulfatos es de 45 % esta disminución en el % es debido a que la cantidad de sulfato presente en la muestra ante de filtrarla estos podría estar en forma de coloides los cuales presentan un tamaño mayor que el de la membrana y una ves filtrado estos son retenido por la membrana.

Existe un 42 % retención de nitrato en la membrana, sin embargo no debería existir retención de este compuesto ya que su tamaño se

encuentra en el intervalo de las sales iónicas 10^{-3} - 10^{-4} μm . una explicación a este valor de % retención, podría ser la siguiente.

En el ciclo del nitrógeno dentro de la nitrificación y desnitrificación llevado a cabo por organismo aeróbico y plantas, el nitrato producto de intermedio de este ciclo forma complejo dando origen a compuesto orgánico naturales, estos presentan tamaño cercano al de la membrana y al ser filtrado son retenidos por ésta.^[17]

Otros análisis fueron pH y conductividad sus resultados se muestran en la tabla No.10

Tabla No.10 Resultados de análisis fisicoquímicos

	Agua sin filtrar.	Agua filtrada
pH	7.74	7.74
Conductividad	390.2 $\mu\text{s/cm}$	389.5 $\mu\text{s/cm}$

Estos resultados están dentro de los límites permisibles de los parámetros fisicoquímicos en agua de consumo humano.

Estos análisis son importantes debido a que dan a conocer las propiedades del agua para el consumo humano.

Los análisis microbiológicos son los siguientes: **Coliformes Totales, Coliformes fecales, Salmonellas, Clostridium**. Los resultados se muestran en la tabla No 11

TABLA No 11 Resultado de los análisis microbiológicos

	Agua sin Filtrar.	Agua Filtrada
Coliformes Totales	25200 ufc/100ml	0
Coliformes Fecales	23800 ufc/100ml	0
Salmonella	+	-
Clostridium	+	-

.En la tabla No 11. se puede observar que hubo una eliminación completa de todos los indicadores microbiológicos de contaminación del agua, después de ser filtrada, resultado del mecanismo de separación de la membrana

Los indicadores coliformes totales y fecales se cuantificaron porque para su detención se utilizó una técnica (siembra en masa) la cual nos permitió su cuantificación.

En cambio los indicadores salmonella y clostridium su detención solo fue una prueba presuntiva no permitiendo su cuantificación realizando solo un análisis de su presencia o ausencia, representado con un signo (+) como presencia y un signo (-) como ausencia

V.4 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA DE CLORO Y TRATAMIENTO DEL AGUA FILTRADA

Para la realización de está se determinó la concentración de una solución de cloro comercial (Blanquito) teniendo una concentración de 3.79%.

La determinación de la demanda de cloro del agua filtrada fue de 1 gota de la solución de cloro por 1.5 m³ de agua filtrada. La dosis de cloro se reduce aproximadamente 1000 veces comparada con la dosificación que se realiza al agua sin tratamiento

VI CONCLUSIONES

Se implemento un nuevo sistema de tratamiento de aguas a través de la técnica de filtración tangencial con membrana de cerámica.

De los resultados anteriores se puede afirmar que el diseño para el montaje del sistema de filtración tangencial con membrana de cerámica es buena técnica que permitió desarrollar los objetivos propuesto en este trabajo obteniéndose un sistema de filtración con buena eficiencia.

El tratamiento de agua con este proceso reduce grandemente la dosis de cloro.

El tratamiento con cloro se realizó para evitar una recontaminación del agua después de ser filtrada. Se evaluó la eficiencia, obteniéndose excelente resultados en la retención de sólidos totales y de los indicadores microbiológico de agua.

Por tanto el agua filtrada con esta técnica puede ser utilizada para el consumo humano ya que los resultados de los análisis físico-químico y microbiológico están dentro de las normas de la OMS.

VII RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio completo del tiempo de colmatación de la membrana
2. Determinar el cloro residual y realizar un estudio del tiempo de contacto del desinfectante con el agua filtrada

VIII BIBLIOGRAFÍA

1. El Nuevo Diario, Situación De la Población Nicaragüense Rurales, Año XVIII No 6450, 1 De Agosto De 1998.
2. J Glynn Henry, Heike Gary W., Ingeniería Ambiental, 2^{da} Edición, Prentice Hall, México, 1999
3. ENACAL De Occidente, Departamento Técnico.
4. <http://acsmedioambiente.com/LoNuevo/Septiembre.htm>
5. <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/caliagua/simposio/eswwwponencia/ponen15.doc>
6. Zenon Enviromental Inc., "Development Of Membrane Technology For Treatment Of Coloured Water " Informe Presentado Al Notario Ministry Of Enviromental And Energy, ET007WS, Septiembre De 1993.
7. Dr. Gustavo Delgado, Folleto Técnicas De Tratamiento De Agua Y Efluente, Junio De 1997.
8. <http://www.aimme.es/profilta/membrana.html>
9. Dr. Gustavo Delgado, Folleto Membranas Inorgánicas, Febrero 2003.
10. Dr. Gustavo Delgado, Folleto Filtración Febrero 2003.
11. http://thales.cisca.es/rd/recurso/rd99/ed99-0526-03/operaciones_basica_i.html
<http://thales.cisca.es/rd/recurso/rd99/ed99-0526-03/OB1-transporte.pdf>
<http://161.116.77.131/~curco/homopage.html>
<http://161.116.77.131/~curco/membranas/membranas.html>
12. American Water Works Asociation, AWWA, Calidad Y Tratamiento Del Agua (Manual De Suministro De Agua Comunitario) 5^{ta} Edición Editorial Mc Graw Hill 2000.
13. <http://acsmedioambiente.com/equipo/ultrafiltracion.html>
14. <http://161.116.77.131/~curco/membrana/UF/ultrafiltracion.html#modelosflujo>
15. Fair Gordon Maskew, Purificación De Agua Y Tratamiento, 5^{ta} Edición, México Editorial Limusa 1979.

16. Jairo Alberto Romero Rojas, Calidad Del Agua, 2^{da} Edición, Editorial Alfaomega Escuela Colombia De Ingeniería, Grupo Edition, S.A. De C.V 1999.

17. Albert L. Lenhinger, bioquímica, 2^{da}. Edición omega S.A. 1980

Ley de la Ecuación de Poiseuille

En ciertas condiciones la ley general de Darcy se convierte en la ley particular de Poiseuille.

$$J_F = \frac{d_p^2 \epsilon \Delta P}{32e \eta}$$

J_F = Flujo aparente del filtrado (respecto a S total)

e = Longitud promedio de poros, m

d_p = Diámetro promedio del poro, m

ϵ : Porosidad sin dimensiones (S vacío/S total) de 25 a 30%

ΔP = diferencia de presión entre el fluido circulante el filtrado, que es la presión ambiente :

$(P_e + P_s)/2$ ^[10].

Transferencia de solutos

La transferencia de soluto está ligado a la eficiencia de la membrana para una operación dada

Flujo de entrada

$$J_S = J_F C_F$$

Sobre el lecho de la membrana

$$J_S = \sigma J_F C_d$$

J_S = Flujo másico de soluto por unidades de superficie de membrana

J_F = Flujo volúmico del líquido por unidades de superficie de membrana

C_F = concentración de soluto en el filtrado

σ = Fracción Superficial de los poros que dejan pasar las moléculas de soluto

C_d = Concentración de soluto en el deposito de la membrana, Kgm^{-3}

Resistencia del colmataje

Resistencia del depósito (R_d), que sumándose a la de la membrana (R_m). la ecuación de Poiseuille se puede escribir:

$$J_F = \frac{1}{R_m + R_d} \frac{\Delta P - \Delta \pi}{\eta}$$

ΔP = Es la presión osmótica a través de la membrana

$\Delta \pi$ = Es la expresión hidrostática a través de la membrana de signo opuesto

Resistencia de la capa de polarización

Esta resistencia no es una resistencia hidráulica propiamente dicha, ya que ella no esta constituida por un lecho fijo de partículas, sino por un fluido espeso en movimiento laminar.

La polarización es un fenómeno por el cual la concentración de un soluto en las paredes de la cámara de rechazado es mayor que en el seno de la disolución de rechazado. Este fenómeno se origina por el arrastre de las moléculas de soluto hacia la pared de la membrana por parte del disolvente que permea a través de la membrana. En condiciones estacionarias este arrastre viene compensado por la retrodifusión del soluto^[10].

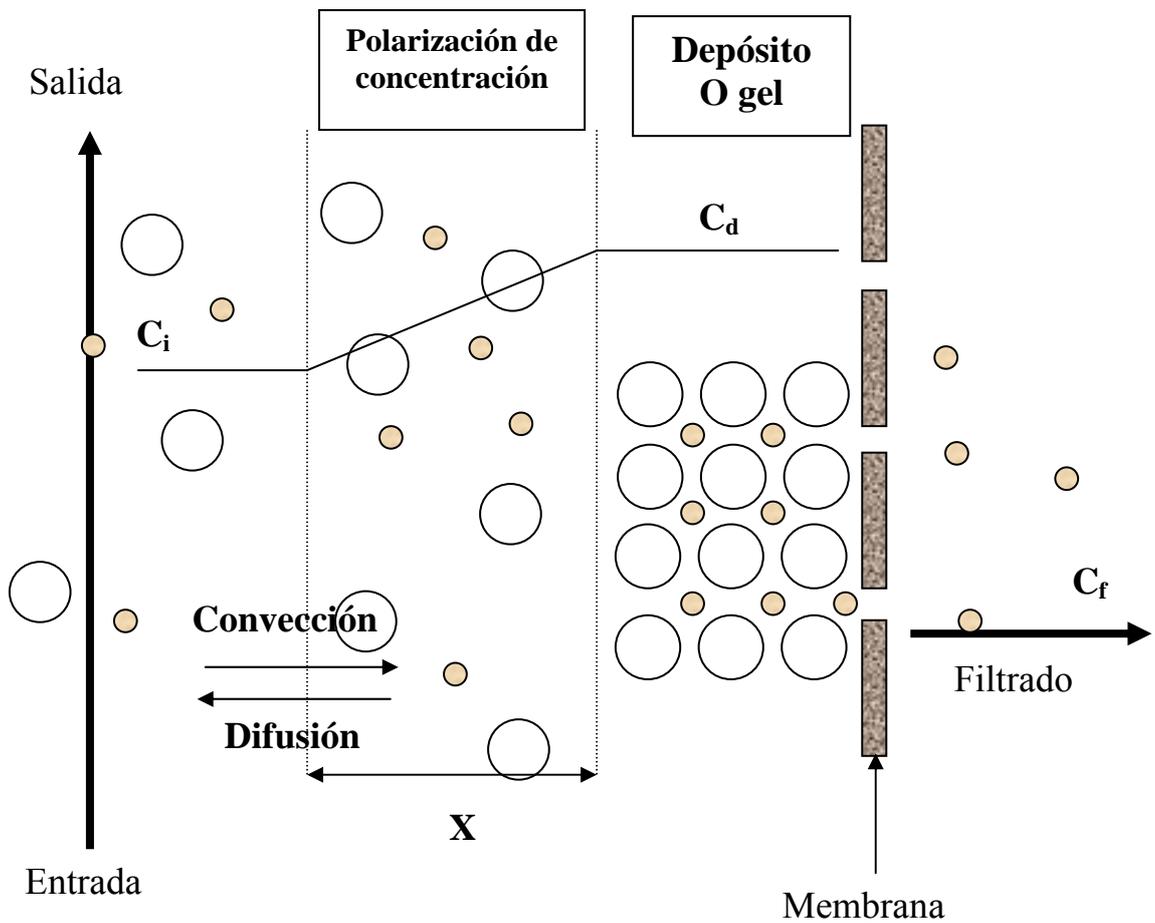


Figura 8. Mecanismo de polarización y colmataje en membrana^[10]

. TEORIA DE LA FINA CAPA EN LA MEMBRANA DE FILTRACIÓN TANGENCIAL

El fenómeno de polarización que conduce al colmataje es en la práctica el verdadero factor limitante de la operación de filtración. Su estudio ha dado origen a la teoría de la fina capa (teoría del film).

Si se observa la figura 8. la polarización tiene por origen la transferencia de materia a través de la membrana y el rechazo de una fracción de los solutos (partículas disueltas o en suspensión) que caracterizan todas las operaciones de separación y en particular la ultrafiltración y microfiltración.

El producto inicial cargado de pequeñas y grandes moléculas tienen una concentración total inicial C_i que circula en régimen turbulento, tangencialmente a la membrana a la membrana. La membrana permeoselectiva sólo deja pasar bajo el efecto de un gradiente de presión ΔP las pequeñas partículas que se encuentran en el filtrado a una concentración de C_f inferior a C_i .

En la capa de polarización de espesor x , las partículas se desplazan su concentración varia entre C_i y C_d .

La capa de polarización de concentración se debe en la realidad a la resultante de dos movimientos: la convección y la difusión.

El movimiento de convección es debido al transporte de las partículas en el fluido a través del movimiento del propio fluido. Y la difusión es el movimiento debido al transporte de las partículas desde una zona de mayor concentración a otra de menor concentración.

Existen ecuaciones matemáticas para calcular el flujo másico de soluto en ambos movimiento

$$\text{CONVECCION} \longrightarrow J'_S = J_F C$$

$$\text{DIFUSIÓN} \longrightarrow J'_S = D \frac{dC}{dx}$$

J'_S = Flujo másico de soluto por unidades de superficie, $\text{Kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$

J_F = Flujo volúmico del agua por unidades de superficie, $\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$

C = Concentración del soluto en la capa de difusión variable de C_i a C_d , Kgm^{-3}

D = Coeficiente de difusión del soluto, m^2s^{-1}

dC/dx = Gradiente de concentración de soluto en la capa x , $\text{Kgm}^3\text{m}^{-1}$

En régimen estacionario, cuando el desempeño de la operación de filtración son estable, podemos considerar movimiento de difusión

compensan los movimientos de convección, y por tanto los flujos de soluto son iguales:

$$J_F C = D \frac{dC}{dx}$$

Integrando:

Para un soluto totalmente retenido



$$JF = \frac{D}{x} \operatorname{Ln} \frac{C_d}{C_i}$$

Para un soluto parcialmente retenido



$$J_F = \frac{D}{x} \operatorname{Ln} \frac{C_d - C_f}{C_i - C_f}$$

$$\rightarrow \gamma = \frac{C_d}{C_i} \quad \text{o bien} \quad \gamma = \frac{C_d - C_f}{C_i - C_f}$$

Factor de polarización

$$\gamma = \operatorname{Exp} \left(\frac{J_F x}{D} \right)$$

$$x = \frac{d_h^{0.20} \eta_S^{0.47} D^{0.33}}{\rho^{0.47} \mu^{0.80}}$$

d_h = Diámetro hidráulico de la membrana

η_S = Viscosidad de la solución

ρ = masa volúmica de la solución