



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

---

---

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA U. Z  
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO  
DIRECCIÓN DE POSGRADO**

***“Remoción de micro organismos patógenos  
utilizando polímeros como mecanismo  
de ultrafiltración en aguas de origen  
doméstico”***

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERIA CIVIL**

**P R E S E N T A**

**JOSE LUIS ALEGRE LIZARDI**



***Mexico D.F. agosto de 2009.***



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

## ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D.F. Siendo las 12:00 horas del día 18 del mes de agosto del 2009 Se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.A.- U.Z.

Para examinar la tesis de grado titulada:

“REMOCIÓN DE MICROORGANISMOS PATÓGENOS UTILIZANDO POLÍMEROS COMO MECANISMO DE ULTRAFILTRACIÓN EN AGUAS DE ORIGEN DOMÉSTICO”

Presentada por el alumno:

ALEGRE  
Apellido paterno

LIZARDI  
Apellido materno

JOSÉ LUIS  
Nombre(s)

Con registro: 

A	0	7	0	6	8	7
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA  
Director de Tesis

M. EN C. Ricardo Contreras Contreras

M. en I. Felipe López Sánchez

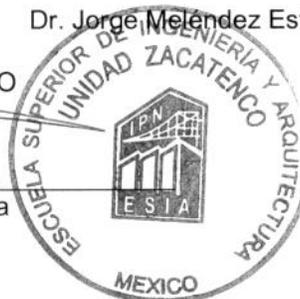
Dr. Víctor Manuel López López

M. en C. Jaime Roberto Ruiz y Zurvia Flores

Dr. Jorge Meléndez Estrada

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

M. en C. Pino Durán Escamilla



SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

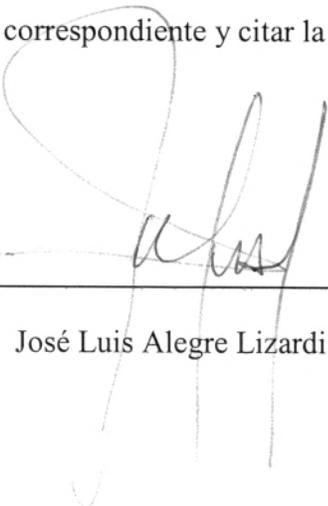


**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

*CARTA CESION DE DERECHOS*

En la Ciudad de México el día 19 del mes de agosto del año 2009, el que suscribe José Luis Alegre Lizardi alumno del Programa de Maestría en Ingeniería Civil con número de registro AO70687, adscrito a la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura –Unidad Zacatenco, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del M. en C. Ricardo Contreras Contreras y cede los derechos del trabajo intitulado: **“Remoción de microorganismos patógenos utilizando polímeros como mecanismo de ultrafiltración de aguas de origen doméstico”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección [lizardi\\_jl@hotmail.com](mailto:lizardi_jl@hotmail.com). Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



---

José Luis Alegre Lizardi

## Indice

Resumen.....	I
Abstract.....	II
Lista de figuras.....	III
Lista de tablas.....	IV
<b>1.- Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Generalidades.....	3
1.2 Antecedentes.....	4
1.3 Justificación.....	6
1.4 Objetivos.....	8
1.4.1 Objetivos generales.	
1.4.2 Objetivos específicos.	
1.5 Hipótesis.....	9
<b>2.- Marco teórico.....</b>	<b>10</b>
<b>3.- Microbiología de aguas residuales.....</b>	<b>16</b>
3.1 Protozoarios parásitos.....	19
3.2 Otros protozoos de importancia en la industria del agua.....	25
<b>4.- Propiedades físicas y químicas de las partículas en solución y suspendida.....</b>	<b>28</b>
4.1 Propiedades de soluciones coloides.....	30
<b>5.- Tipos de membranas y características.....</b>	<b>32</b>
5.1 Membranas microporosas.....	33
5.2 Membranas densas.....	35
5.3 Membranas cargadas eléctricamente.....	36
5.4 Membranas anisótropas.....	36
<b>6.- Microfiltración, ultrafiltración y nanofiltración.....</b>	<b>38</b>
<b>7.- Tratamiento del agua.....</b>	<b>40</b>
7.1 Desinfección del agua.....	46
7.2 Metales pesados presentes en el agua .....	51
7.3 Etapas del sistema de tratamiento de la planta de aguas residuales de origen domestico del conjunto habitacional.....	52

---

<b>8.-</b>	<b>Normatividad para aguas residuales tratadas para reuso.....</b>	<b>59</b>
8.1	Limites máximos permisibles de contaminantes.....	60
8.2	Metodología.....	61
<b>9.-</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>62</b>
<b>10.-</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>66</b>
<b>11.-</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>68</b>
<b>12.-</b>	<b>Glosario.....</b>	<b>70</b>
<b>13.-</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>86</b>
<b>14.-</b>	<b>Abreviaturas.....</b>	<b>87</b>
14.1	Unidades de medida.	
14.2	Siglas.	



## Resumen

La problemática en la que se pretende contribuir en su solución en este tema de estudio, se deriva del desabasto de agua potable que actualmente se presenta en la Ciudad de México, razón por la cual se requiere se incremente el tratamiento de las aguas residuales y que a estas se les puedan dar un reuso. Para este caso en particular se enfatiza en las aguas de desecho de origen doméstico. El sistema de filtración que se tomó para su valoración, se desprende de una planta de tratamiento de aguas residuales para tratar aguas de desecho generadas de un conjunto habitacional. El diseño de la planta está basado en las características de un efluente doméstico típico, dadas las características particulares del desarrollo habitacional este tren de tratamiento permitirá generar una calidad de agua que pueda posteriormente reusarse ya sea en sanitarios, lavado de autos e irrigación de jardines, así como esta planta está diseñada para tratar un flujo promedio de  $157 \text{ m}^3/\text{día}$ , sin embargo durante los periodos de máxima actividad diaria, el sistema es capaz de tratar un flujo de  $314 \text{ m}^3/\text{día}$ .

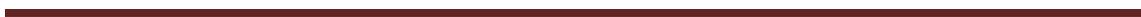
El tren de tratamiento se puede resumir de la siguiente manera: se cuenta con un pretratamiento que consiste en un tanque trampa que tiene como finalidad retener residuos sólidos de mayor tamaño y sólidos no-biodegradables como plásticos, grava y/o cabellos que pueden ocasionar que las membranas se tapen, un tanque de igualación de flujos donde están trabajando 2 bombas trituradoras para garantizar que solamente sólidos finos lleguen al bioreactor, un bioreactor que consiste en un tanque de concreto dividido en dos secciones: zona anóxica y zona aeróbica, donde está instalado un sistema de aereación de burbuja fina suministrado por dos sopladores. Asimismo todo este sistema cuenta con una recirculación de lodos con el propósito de remover los sólidos acumulados en la zona de membranas y desarrollar una mezcla más uniforme en el bioreactor.

El módulo de membrana sumergida se compone de un marco rectangular, libre de cubierta, en el cual están fijados los módulos de fibra hueca, sumergidos directamente en la mezcla de lodos activados y conectados a la succión de una bomba centrífuga. Al aplicarse una ligera succión (3-8 psi), el agua tratada (permeado) es succionada a través de los poros de la membrana hacia el centro hueco de cada fibra y descargada al sistema. Cabe mencionar que este sistema cuenta con un tanque para retro-lavado el cual se lleva a cabo con permeado almacenado en dicho tanque, después de un ciclo de retro-lavado el tanque se llena automáticamente al desviar el permeado en este tanque. Al llenarse, automáticamente el flujo vuelve a ser desviado hacia la descarga del agua tratada.

El sistema de filtración estudiado se basa en una membrana de fibra hueca sumergida operada por succión con un tamaño nominal de poro  $0.035 \mu\text{m}$  ( $0.1 \mu\text{m}$  en tamaño absoluto) por lo que en teoría rechazará todo tipo de sólidos suspendidos y coloides, incluyendo algunas bacterias y quistes que por su tamaño estén por debajo del tamaño nominal de poro.

El presente trabajo tiene como finalidad valorar la eficiencia de esta membrana como un tratamiento terciario para la obtención de un agua de buena calidad que cumpla con la NOM-003-SERMANAT-1997 (vigente), la cual especifica los límites máximos permisibles para un agua de reuso para servicios al público con contacto directo, lo que evitara el vertido de efluentes a la red pública de saneamiento y , en la misma medida, los costos de tratamiento relativos al cumplimiento de la normatividad sobre límites de vertido a cuerpos de aguas naturales, teniendo como consecuencia disminuir el desabasto de este vital líquido en diferentes sectores de la Ciudad de México. La metodología que se desarrolló para poder medir la eficiencia, se realizó mediante la toma de 2 muestras simples en un periodo de un mes para después enviarlas a un laboratorio certificado donde se determinaron 5 parámetros como son : Grasas y Aceites, Sólidos Suspendidos Totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Huevos de Helminto y Coliformes Fecales.

Derivado de los resultados de laboratorio y obteniendo la eficiencia de remoción de microorganismos patógenos, considerando las características del influente y efluente tratado, se determino una eficiencia de 35 %, así también se determinaron las eficiencias en los demás parámetros que marca la NOM-003-SERMANAT-1997. Por lo anterior, se concluye que la membrana de poliacrilonitrilo con una tamaño nominal de 0.035  $\mu\text{m}$  (0.1  $\mu\text{m}$  en tamaño absoluto), en un sistema de ultrafiltración cumple con los límites máximos permisibles de contaminantes que señala la normatividad vigente para agua de reuso en servicios al público, toda vez que tomando la media geométrica de los resultados de laboratorio del índice de los coliformes fecales resulto de 177 NMP/100 ml, contra 240 NMP/100 ml que marca la norma, por lo que nos permite reutilizar esta agua tratada en servicios al público con contacto directo, como son: lavados de vehículos, riego de parques y jardines.



## Abstract

The problem which seeks to contribute to their solution in this area of study is derived from drinking water disupply currently being shown in Mexico City, which is why we need increased treatment of wastewater and these can be given a reuse. For this particular case is emphasized in the wastewater of domestic origin. The filtration system for its valuation, is come off a plant of waste water treatment to deal with generated waters of remainder a residential set. The design of the plant is based on the characteristics of an effluent typical domestic servant, given to the particular characteristics of the residential development east treatment train it will allow to generate a quality of water that can later be reuse or in toilets, washing of cars and irrigation of gardens, as well as this plant this designed to treat a flow 157 average of  $m^3/day$ , nevertheless during the periods of principle daily activity, system will be able to treat of flow 314 of  $m^3/day$ .

The treatment train can be summarized of the following way: pretreatment counts on that consists of tank trap that it has as an aim to retain not-biodegradable larger and solid residues solid like plastics, burdens and/or hair that can cause that the membranes are covered, a tank of equalization of flows where 2 crushing pumps are working to guarantee that only solid fine they arrive at the bioreactor, a bioreactor that consists of a tank of concrete I divide in two sections: anoxic zone and aerobic zone, where a system of aeration of fine bubble is installed provided by two blowers. Also all this system counts on a mud recirculation in order to remove accumulated solids in the zone of membranes and to develop a more uniform mixture in the bioreactor.

The submerged membrane unit is made up of a rectangular frame, frees of cover, to which the hollow fiber modules are fixed, submerged in the mixture of activated and connected muds to the suction of a centrifugal pump directly. When being applied a slight suction (3-8 psi), the treated water (solaiter) is sucked through pores of the membrane towards the hollow center of each unloaded fiber and to the system. It is possible to mention that this system counts on a tank for retro- washed which is carried out stored with solaiter in this tank, after a cycle of retro - washed the tank fills automatically when solaiter turning aside in this tank. When filling, automatically the flow returns to be turned aside towards the unloading of the treated water.

The studied system of filtration is based on hollow a fiber membrane submerged to patient by suction with a nominal size of pore  $0,035 \mu m$  ( $0,1 \mu m$  in absolute size) reason why on theory would reject all type of suspended and colloid solids, including some bacteria and cysts that by their size are below the nominal size of pore.

The objective of this job is to value the efficiency of this membrane like a tertiary treatment for the obtaining of a water of good quality that fulfills the NOM-003-SERMANAT-1997 (effective), which specific you limit permissible maximums for a water of reuse for services the public with direct bonding, which avoided the spill of effluents to the public network of cleaning and, in the same measurement, the costs of treatment regarding the fulfillment of the standardisation on limits of spill to natural water bodies, having consequently to diminish display of this vital liquid in different sectors from the City of Mexico. The methodology that development to be able to measure the efficiency, I am realised by means of the taking of 2 samples simple in a month later to send them to laboratory certificate where there determined 5 parameters of : Greasy and Oils , Suspended Solids Total, Biochemical Demand of I oxygenate, Eggs of Helminto and Faecal Coliformes.

Derived from laboratory results and efficiency of obtaining the removal of pathogenic microorganisms, considering the characteristics of the influent and treated effluent, it was determined an efficiency of 35% and also identified efficiencies in the other parameters makes the NOM-003 - SERMANAT-1997. Por the foregoing, we conclude that the polyacrylonitrile membrane with a nominal size of 0.035 m (0.1 m in absolute size), it can not be regarded as an absolute barrier to retain this type of microorganisms. However, note that by taking the geometric mean of the laboratory results of the index of faecal coliform, result of 177 MPN/100 ml MPN/100 ml to 240 against the norm, which allows us to reuse the treated water services direct contact with the public, such as: washing cars, watering parks and gardens



## Lista de figuras

	Pág.
1. Fotomicrografía.....	12
2. Sistema de ultra filtración Huber VRM.....	14
3. Bacteria esférica.....	17
4. Bacteria filamentosa.....	17
5. Escherichia coli.....	18
6. Salmonella.....	18
7. Micrográficos del escaneo electrónico de ocitos del Crypyosporidium a. ( 4 a 6 micrones de diámetro).....	19
8. Micrográficos del escaneo electrónico de Giardia ( 12 a 20 Micrones de diámetro).....	21
9. Membranas Planas.....	32
10. Membranas Tubulares.....	32
11. Membranas de Fibra Hueca.....	32
12. Cartuchos de Membrana.....	34
13. Módulos tipo Bastidor.....	34
14. Membranas Tubulares.....	35
15. Sección transversal de la membrana.....	35
16. Membrana permeable a Aniones, Membrana permeable a Cationes.....	36
17. Membranas espirales.....	37
18. Membrana asimétrica.....	37
19. Membrana simétrica.....	37
20. Membrana composit.....	37
21. Microfiltración.....	38
22. Ultrafiltración.....	38
23. Nanofiltración.....	39

	<b>Pág.</b>
1. Tratamiento convencional de aguas residuales.....	41
2. Conjunto Habitacional de 210 viviendas de interés social.....	52
3. Sistema de sopladores.....	53
4. Sistema de aeración.....	53
5. Membrana de polímero vinílico (poliacrilonitrilo).....	54
6. Módulos de Fibra Hueca.....	55
7. Concepto operativo de una membrana de afuera hacia adentro sumergida.....	55
8. Sistemas de Filtración a Presión.....	55
9. Esquema Modular.....	56
10. Lavado Automático.....	57



## Lista de tablas

	Pág.
1. Enfermedades provocadas por algunas clases de Bacterias.....	18
2. Bacterias que se pueden encontrar en aguas superficiales, y las enfermedades que causan cuando son ingeridas en grandes cantidades, junto con los síntomas.....	21
3. Fases Químicas de un coloide.....	29
4. Temperaturas de ebullición del agua a diferentes alturas.....	46
5. Límites máximos permisibles de contaminantes.....	60
6. Caracterización de un agua residual doméstica.....	60
7. Índices de pruebas de laboratorio.....	61
8. Obtención de resultados DBO5.....	62
9. Obtención de resultados de Sólidos Suspendedos Totales (SST).....	62
10. Obtención de resultados de grasas y aceites.....	63
11. Obtención de Huevos de Helminto.....	63
12. Obtención de resultados de coliformes fecales y totales.....	64
13. Tabla de eficiencias de remoción de los índices marcados por la NOM – 003-SEMARNAT-1997 para agua de reúso para servicios al público con contacto directo.....	65
14. Tabla comparativa de resultados de las muestras respecto a los límites máximos permisibles que marca la NOM –003-SEMARNAT-1997 para agua de reúso para servicios al público con contacto directo.....	65

## 1.-Introducción

La creciente necesidad de lograr el equilibrio hidrológico que asegure el abasto suficiente de agua a la población se logrará armonizando la disponibilidad natural con las extracciones del recurso mediante el uso eficiente del agua. México, un país rico en recursos naturales, obtiene el agua que consume la población de fuentes tales como ríos, arroyos y acuíferos del subsuelo. Estos acuíferos se recargan de forma natural en época de lluvias. Sin embargo, la época de lluvias tiene una duración promedio de cuatro meses lo que propicia una escasa captación. Aunado a esto, del total de agua captada por lluvias, aproximadamente el 70% se evapora.

La desproporción que existe entre la cantidad de agua que se capta por escurrimiento y las extensiones territoriales que comprenden aunado a la corta temporada de lluvias hace que la disponibilidad del agua sea cada vez menor. Bajo este panorama México enfrenta actualmente graves problemas de disponibilidad, desperdicio y contaminación del agua.

Parte de esta problemática, se enfrenta con la construcción de la Infraestructura Hidráulica que permite satisfacer de agua a los diferentes sectores de la población: el agrícola, el industrial, el doméstico y de servicios y para la generación de energía eléctrica, entre otros. No obstante existen diferencias territoriales importantes que son desfavorables.

En los países desarrollados, el éxodo de millones de personas hacia zonas rurales ha generado la necesidad de agua purificada en nuevas partes del campo. En las municipalidades, las ventas de agua embotellada siguen aumentando en doubles dígitos debido a la preocupación que existe sobre la calidad y el sabor del abastecimiento de agua municipal. En los países en vías de desarrollo, se están buscando soluciones sencillas y eficaces para obtener agua purificada para las necesidades diarias de agua potable e higiene. Varias tecnologías están siendo actualmente utilizadas para desinfectar / purificar el agua matando, desactivando o eliminando bacterias, virus y quistes. La mayoría de las tecnologías actuales tienen limitaciones: pueden generar productos derivados de la desinfección; algunos requieren electricidad para desinfectar; algunos son solamente efectivos en ciertos patógenos presentes en el agua potable. Otros son altamente ineficaces debido a la proporción de agua desperdiciada versus la cantidad de agua utilizable producida, o no pueden ser utilizados en agua dura sin previo tratamiento. Asimismo, la mayoría de los sistemas de desinfección disponibles en la actualidad requieren una combinación compleja de tecnologías múltiples para lograr la turbidez y niveles de desinfección requeridos para satisfacer las normas de agua residual para reúso.

El 59% del consumo total de agua en los países desarrollados se destina a uso industrial, el 30% a consumo agrícola y un 11% a gasto doméstico, según se constata en el primer informe de Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo, Agua para todos, agua para la vida (marzo 2003).

Estos datos aportan una idea de la importancia que tiene el tratamiento y la reutilización de aguas residuales en el mundo, y más aún en países que saldan su balance de recursos hídricos con números rojos. El agua es tanto un derecho como una responsabilidad, y tiene valor económico, social y ambiental.

Cada ciudadano, cada empresa, ha de tomar conciencia de que el agua dulce de calidad es un recurso natural, cada vez más escaso tanto a nivel superficial como subterráneo, necesario no sólo para el desarrollo económico, sino imprescindible como soporte de cualquier forma de vida en la naturaleza.

El adecuado tratamiento de aguas residuales y su posterior reutilización para múltiples usos contribuye a un consumo sostenible del agua y a la regeneración ambiental del dominio público hidráulico y marítimo y de sus ecosistemas. La comunidad internacional ha reconocido en múltiples foros el importante papel que juega el agua en un sistema sostenible de desarrollo a largo plazo. La Agenda 21, surgida de las conversaciones de Río 92, concluye en el capítulo 30 que las políticas y operaciones comerciales e industriales pueden desempeñar un papel decisivo en la conservación medio ambiental y el mantenimiento de los recursos si se incrementa.

## 1.1 Generalidades

Se denomina membranas a las barreras delgadas entre dos fases, a través de las cuales, bajo la acción de una fuerza (normalmente una diferencia de presión o de concentración), tiene lugar un transporte. Los procesos capilares, fenómenos de adsorción y la carga superficial de estas membranas juegan un papel importante en las retenciones y separaciones. Estos dispositivos se introdujeron en procesos de separación hace más de 40 años y desde entonces han experimentado grandes avances. Los procesos de separación en membranas se clasifican en varios tipos: filtración (diámetros de poro de más de 104 nm), microfiltración (entre 102 y 104 nm), ultrafiltración (entre 1 y 102 nm) y ósmosis inversa (con diámetros de poro menores de 1nm).

.Los requisitos que debe cumplir una membrana son una alta permeabilidad y selectividad, resistencia mecánica adecuada, estabilidad química y térmica en las condiciones de trabajo, baja velocidad de obstrucción, un largo y fiable funcionamiento y una relación coste/producción mejor que otros procesos de separación. Teniendo en cuenta estas necesidades, se puede comprobar, que al comparar por ejemplo las membranas poliméricas con las inorgánicas, las primeras cumplen con la mayoría de las mismas, por lo que no es de extrañar, que el comercio mundial de membranas lo domine actualmente las poliméricas. Sin embargo, se está empleando un gran esfuerzo en el desarrollo de las membranas inorgánicas, a fin de solventar los problemas que presentan las poliméricas en algunas condiciones de trabajo.

Estas aplicaciones especiales de las membranas inorgánicas se encuentran en separaciones a altas temperaturas, en condiciones de trabajo donde se empleen grandes esfuerzos mecánicos, separaciones en medios agresivos, medios donde exista peligro de ataque de microorganismos, etc. Aunque por supuesto, presentan también algunas limitaciones: fragilidad frente a esfuerzos de tracción (sobre todo en soportes), de laminación, no poseer la resistencia necesaria a la hora de realizar su mecanizado y sus altos costes de obtención. Los productos denominados membranas inorgánicas, actualmente se consideran únicamente como tamices moleculares (es decir separan por tamaños), pero esta es una visión muy reducida de lo que en verdad son. Una definición más precisa sería aquella que los define como materiales asimétricos y porosos formados por un soporte macroporoso seguido de una o varias capas delgadas sucesivas depositadas sobre él. Esta descripción es más exacta y es la que muchos autores aceptan, pero dejaría fuera a un bloque importante como es el de las membranas densas. Así, las membranas inorgánicas se pueden dividir en dos grupos: membranas densas (que pueden ser de metales, híbridas inorgánicas-orgánicas o de óxidos mixtos) y membranas porosas. La clasificación del tamaño de poro recomendado por la IUPAC es la siguiente: macroporos  $\varphi > 50$  nm, mesoporos  $2 \text{ nm} < \varphi < 50$  nm y microporos  $\varphi < 2$  nm, aunque existen muchos autores que prefieren utilizar el término de nanoporos. (Conesa B. A.,2004 ).

## 1.2 Antecedentes

### Filtración

La filtración es una operación en la que se hace pasar el agua a través de un medio poroso, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión. El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena, de altura variable, dispuesta en distintas capas de distinto tamaño de partícula, siendo la superior la más pequeña y de entre 0.15 y 0.3 mm. Es una operación muy utilizada en el tratamiento de aguas potables, así como en el tratamiento de aguas para reutilización, para eliminar la materia en suspensión que no se ha eliminado en anteriores operaciones (sedimentación). En aguas industriales hay más variedad en cuanto al material filtrante utilizado, siendo habitual el uso de Tierra de Diatomeas. También es habitual, para mejorar la eficacia, realizar una coagulación-floculación previa. Hay muchas maneras de clasificar los sistemas de filtración: Por gravedad ó a presión, lenta ó rápida, de torta ó en profundidad.

**Filtración por gravedad.** El agua circula verticalmente y en descenso a través del filtro por simple gravedad. Dentro de este tipo, podemos hablar de dos formas de operar, que nos lleva a tener una filtración lenta, apenas utilizados actualmente, o una filtración rápida. El mecanismo de la separación de sólidos es una combinación de asentamiento, retención, adhesión y atracción, por lo que se eliminan partículas mucho menores que el espacio intersticial. Es un sistema muy utilizado en tratamiento para aguas potables.

**Filtración por presión.** Normalmente están contenidos en recipientes y el agua se ve forzada a atravesar el medio filtrante sometida a presión. También en este caso puede haber filtración lenta, en la que en la superficie del filtro se desarrolla una torta filtrante donde la filtración, a través de esa superficie, es por mecanismos físicos y biológicos. Por otro lado, en la filtración rápida se habla de filtración en profundidad, es decir, cuando la mayor parte de espesor de medio filtrante está activo para el proceso de filtración y la calidad del filtrado mejora con la profundidad. Esta filtración a presión se suele utilizar más en aguas industriales. En la actualidad y en algunas de sus aplicaciones, estos métodos están siendo desplazados por operaciones con membranas, especialmente por microfiltración, ultrafiltración y Nanofiltración

Aunque los procesos de microfiltración, ultrafiltración y *Nanofiltración* se basan en el mismo principio que la filtración clásica: separación mecánica de partículas mediante un tamiz, hay que resaltar que ésta solo es aplicable a suspensiones, mientras que en microfiltración ultrafiltración, la exclusión de partículas por la membrana tiene lugar en el caso de dispersiones coloidales y soluciones.

La filtración mediante polímeros sigue el principio de la separación de partículas basada en el tamaño de los poros y en su distribución. Las membranas de microfiltración tienen tamaños de poro que varían de 0.075 micrones a 3 micrones. Según la membrana seleccionada, se podrán separar sólidos suspendidos de más de 0.45 micrones, bacterias, quistes y muchos otros parásitos cuyo diámetro sea mayor que el del poro más grande de la membrana. Las membranas de nanofiltración tienen tamaños de poro que varían de 0.005 micrones a 0.001 micrones y gracias a este pequeño diámetro del poro pueden remover moléculas de alto peso molecular tales como ácidos húmicos y ciertas sales. Esto permite producir agua libre de parásitos y sólidos sin tener que recurrir a productos químicos. (Palma I. J., 2003).

### **Microfiltración (MF)**

La microfiltración utiliza valores de diferencia de presión transmembrana comprendidos en el intervalo 100 - 500 kPa, pudiendo separar tamaños de partículas dentro del rango: 0.1 mm – 10 mm, de distinta naturaleza: sólidos suspendidos, partículas finas y algunos coloides.

### **Ultrafiltración (UF)**

La ultrafiltración utiliza diferencias de presión transmembrana de 100 - 800 kPa, con un intervalo de tamaño de poro de 10 Å – 1000 Å, pudiendo realizar separaciones de microsolutos como coloides y macromoléculas. La forma habitual de clasificar estas membranas es mediante el peso molecular de corte (cut-off Mw), definido como el peso molecular de las proteínas, de tipo globular, que la membrana puede separar en un 90 %.

El pH del medio es otro factor que también puede modificar el proceso de ultrafiltración. Los ácidos poliacrílicos, a valores de pH 5 y superiores, se encuentran ionizados, formando estructuras rígidas que se repelen entre si y que son fácilmente rechazados por membranas de ultrafiltración. Sin embargo, a valores de pH 3 o inferiores dejan de estar ionizados, adoptando una conformación más flexible que pueden atravesar la membrana y dificulta su proceso de separación.

### **Nanofiltración (NF)**

Las prestaciones de esta tecnología son intermedias entre la *UF* y *RO*. Utiliza membranas con valores de pesos moleculares de corte de 200 D – 1000 D y coeficientes de rechazo de cloruro sódico de 0.2 – 0.80 %. *NF* se aplica para el tratamiento de aguas con una concentración salina de 200 mg/L – 5000 mg/L con presiones de trabajo de 7 bar – 14 bar, de ahí que también se denomine ósmosis inversa de baja presión. Se utiliza en el tratamiento de aguas de consumo en pequeñas comunidades. Elimina la dureza del agua y como pretratamiento para la obtención de agua ultrapura.

### 1.3 Justificación

En las fuentes, que se emplean para la provisión de agua potable, los sólidos pueden presentarse principalmente en tres formas: suspendidos, disueltos y en estado coloidal. La materia suspendida, que comúnmente se caracteriza por la turbiedad, puede ser removida mediante procesos de tratamiento más convencionales. El más común es la coagulación, seguida de filtración o clarificación. En este caso, por lo general, la dosis de coagulante es equivalente al nivel de turbiedad en la fuente.

Por lo general, los procesos de tratamiento convencionales no son muy efectivos cuando el color y el carbono orgánico total (COT) están presentes en altos niveles en el agua con un tratamiento terciario. Debido a que las porciones coloidales y suspendidas de estos componentes son relativamente altas, no se pueden remover fácilmente mediante sedimentación y filtración por gravedad.

La presencia de quistes y oocitos de *Cryptosporidium* y *Giardia*, así como otros parásitos en las fuentes de agua potable. La ineficiencia de las plantas de filtración convencionales para filtrar y desinfectar estos agentes patógenos del agua potable ha obligado a los ingenieros a buscar nuevas tecnologías.

El polímero que se propone como medio de filtración para aguas domésticas, para su evaluación y estudio es el “**poliacrilonitrilo**”, que es un polímero vinílico, y un derivado de la familia de los acrilatos poliméricos. Se hace a partir del monómero acrilonitrilo, por medio de una polimerización vinílica por radicales libres. Los grupos nitrilo son muy polares, así que se atraen mutuamente. Esto permite que las cargas opuestas de los grupos nitrilo puedan estabilizarse. Esta fuerte atracción sostiene firmemente las cadenas haciendo el material más fuerte. El poliacrilonitrilo se utiliza realmente, para hacer otro polímero, como la fibra de carbono. Pero los copolímeros que contiene principalmente el poliacrilonitrilo, se utilizan como fibras para hacer tejidos, como medias y suéteres, o también productos para ser expuestos a la intemperie, como carpas y otros.

Por lo anterior, se considera que este material es un candidato a estudio para este trabajo de investigación, debido principalmente a la capacidad de resistencia, toda vez que éste estará sometido a fuertes presiones, derivado del flujo de agua.

Las posibles ventajas que se podrían obtener con el uso de polímeros como medio de filtración en el tratamiento de agua residual serían:

- Poco requerimiento de energía.
- Efecto de barrera absoluta para microorganismos.
- Menor requerimiento de cloro para la desinfección.
- Uso reducido de productos químicos (en caso que se usen).
- Menor tamaño de la planta.

La finalidad de determinar la eficiencia en la utilización de polímeros como medio de filtración para la remoción de bacterias y quistes en un proceso de tratamiento de agua residual, es con el propósito de obtener una agua de mejor calidad y que esta pueda volver a ser reutilizada en los procesos domésticos como en el uso de muebles de baño, lavado de autos, pisos, áreas jardinadas, etc. La reutilización del agua evita, en gran parte, el vertido de efluentes a la red pública de saneamiento y, en la misma medida, los costos de tratamiento relativos al cumplimiento de la normatividad sobre límites de vertido y con esto disminuir el desabasto en el suministro de este vital líquido, que en la actualidad es un grave problema en algunos conjuntos habitacionales en diferentes sectores de la Ciudad de México.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 General**

- Valoración de un sistema de filtración basándose en polímeros como mecanismo de ultra filtración para la remoción de bacterias y quistes en aguas servidas de conjuntos habitacionales.

### **1.4.2. Específicos**

- Valoración de los parámetros de eficacia de los polímeros como medio de filtración en el tratamiento de agua residual, como son: tamaño de los poros, distribución del tamaño de los poros, permeabilidad, área de superficie, características de ensuciamiento y consistencia.
- Valoración de las posibles ventajas y desventajas en la utilización de polímeros como medio de filtración en el proceso de tratamiento de aguas residuales.

## 1.5 Hipótesis

Con la finalidad de valorar la eficiencia de un sistema de ultrafiltración basado en una membrana de poliacrilonitrilo en el tratamiento de aguas de desechos de origen domestico, a fin de poder reutilizarla y con esto disminuir el consumo de agua potable en Conjuntos Habitacionales se plantea la siguiente Hipótesis:

Si la membrana elaborada de "poliacrilonitrilo" con un tamaño nominal de poro de 0.035  $\mu\text{m}$  (0.1  $\mu\text{m}$  en tamaño absoluto) puede ser capaz de retener todo tipo de sólidos suspendidos y coloides, incluyendo todos los sólidos mayores a los poros y bacterias contenidas en los lodos activados en un proceso de ultra filtración; se obtendrá un efluente con una alta remoción de microorganismos (NOM-003-SEMARNAT-1997) que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

## 2.- Marco Teórico.

### Reutilización de aguas residuales.

Para plantearse la reutilización de las aguas residuales, habría previamente que realizar una distinción entre aguas negras, aguas grises y aguas pluviales.

Brevemente se puede señalar que:

- Las aguas negras proceden de inodoros y transportan una importante fracción orgánica muy contaminante.
- Las aguas grises proceden, de los fregaderos, lavamanos, bañeras, duchas y lavadoras. Dichas aguas transportan cierta cantidad de grasas y fracción orgánica y un gran volumen de jabones y detergentes.
- Las aguas pluviales, proceden de las aguas de lluvias y arrastran algunos residuos inertes y orgánicos.

La reutilización de aguas residuales, constituye un conjunto de técnicas que se vienen utilizando desde tiempos pretéritos, la civilización Minoica (2000 a. C.), utilizaba las aguas residuales en el regadío. Este uso se encontraba muy extendido en la antigüedad, por ejemplo, en la Jerusalén del Rey David, las aguas residuales eran conducidas a un depósito y tras sufrir un proceso de mineralización anaeróbica y la pertinente sedimentación de gruesos, era destinada al riego de las huertas que rodeaban a esta ciudad. (*American Water Works Association Research Foundation., 1999*).

Con el enfoque de desarrollo sustentable, se recomienda reutilizar las aguas tratadas, donde se emplean pequeños elementos prefabricados para efectuar el tratamiento "**in situ**" de las aguas residuales. También es necesario recurrir al empleo de redes paralelas o duales de abastecimiento de aguas.

En estos momentos, para fomentar el desarrollo sustentable, se están ofertando en mercado elementos de bajo consumo (grifería, inodoros, etc.), con la aparición de estos elementos se intenta reducir el volumen de agua utilizada, y por lo tanto el volumen de agua residual a tratar, con lo cual es posible, emplear dispositivos de depuración de menor formato, que ocupan mucho menor espacio que los utilizados con anterioridad.

En España también se ha conocido un uso tradicional del regadío con aguas residuales practicado por los romanos y, sobre todo, por los árabes. Con la aparición de las primeras redes modernas de alcantarillado (1900) en Europa y Norteamérica, el uso directo de las aguas residuales sin tratar en el regadío se intensifica, y las aguas de alcantarillas tenían una gran demanda.

Existen, incluso en nuestro planeta, regiones con un importante déficit hídrico, Israel, Namibia, etc, donde se ha institucionalizado la reutilización directa de las aguas residuales tratadas en el regadío.

La mencionada reutilización directa de aguas residuales tratadas a partir de efluentes municipales se efectúa en Windhoek, capital de Namibia.

Estados Unidos es el país pionero, en la reutilización de las aguas residuales a gran escala, en 1912, en el Golden Gate Park de San Francisco, se comenzó a utilizar aguas residuales tratadas en el riego de la zonas verdes y en el abastecimiento de las masas de aguas ornamentales de dicho parque.

Hacia 1975, el volumen de aguas residuales tratadas reutilizadas en U.S.A. era de unos 985.5 Hm<sup>3</sup> / año, el grueso de las instalaciones de reutilización de aguas se localizaban en Arizona, California y Texas, etc.

La tecnología para producir agua potable de alta calidad a partir de aguas residuales secundarias municipales se ha ensayado en experiencias pilotos y de demostración también en los Estados Unidos (U.S.A.), en Denver, Colorado, utilizando la Ósmosis Inversa (OI). En estas experiencias se ha llegado a la conclusión de que es posible utilizar la OI mientras que se les dé un tratamiento previo adecuado a las aguas residuales. (*American Water Works Association Research Foundation., 1999*).

## Membranas.

Se denomina membranas a las barreras delgadas entre dos fases, a través de las cuales, bajo la acción de una fuerza (normalmente una diferencia de presión o de concentración), tiene lugar un transporte.

Cuando se utilizan membranas, suele suceder que una proporción de coloides y microorganismos del agua de alimentación acaban entrando en los módulos transformando las superficies de las membranas donde son absorbidos y donde acaban formados una delgada capa ensuciadora. Una vez agregadas, las poblaciones de microorganismos pueden proliferar a expensas de la fracción orgánica presente en las aguas. Dichas poblaciones acaban formando una capa biológica o una biocapa que puede comprometer el normal funcionamiento de las membranas, dificultando el proceso de tratamiento de las aguas. La flora bacteriana ofrece un aspecto redondeado como se puede apreciar en la fotomicrografía. **(Ver. Fig. 1).**

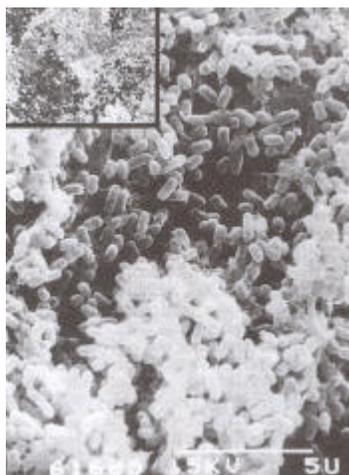


Fig. 1 fotomicrografía

- La microfiltración (MF).
- La ósmosis inversa (OI).
- La nanofiltración (NF).
- La ultrafiltración (UF).

Con anterioridad al uso de membranas en las operaciones de potabilización de las aguas, se empleó la filtración lenta por arena diseñado por el ingeniero inglés Simpson (Londres, 1829), dicho ingeniero también desarrolló en 1880 el primer sistema de tratamiento de aguas residuales utilizando filtros percoladores, así mismo, el procedimiento de fangos activados, que en la actualidad se sigue utilizando en las mayoría de las plantas de aguas residuales. También fue una idea de este ingeniero.

Dentro de los procedimientos de depuración de aguas residuales que se emplean en la actualidad, destaca el uso de los biorreactores de membrana (BRM), que funcionan gracias a la combinación de dos procesos básicos:

- La degradación biológica de la fracción orgánica transportada por las aguas residuales.
- La separación utilizando membranas UF y MF.

De este modo, el influente entra en el biorreactor, donde se pone en contacto con la biomasa, después la mezcla es bombeada del biorreactor y luego filtrada en la membrana. El agua filtrada es retirada mientras que la biomasa es devuelta al biorreactor. Con el fin de mantener la edad del fango constante, el fango excedente también se retira. Se trata por lo tanto de trabajar con fangos activados haciendo que el agua residual depurada no se extraiga por sedimentación de finos en un decantador secundario, sino que dicha agua sea extraída por filtración a través de membranas.

Por lo expuesto, un BRM puede definirse, como una modificación de los procesos convencionales de tratamiento biológico donde los depósitos de sedimentación secundarios son sustituidos por membranas de filtración.

Los sistemas de membranas de ultra filtración (UF) para biorreactores están conociendo un gran desarrollo debido a las mayores exigencias que se le están imponiendo a los efluentes de aguas residuales depuradas y al incremento de la demanda de reutilización de AR depuradas.

El reactor biológico y la membrana pueden estar separados, o pueden estar integrados en un compacto.

El primer biorreactor de membrana se utilizó en 1967 en Connecticut (U.S.A.), dicho biorreactor tenía capacidad para tratar  $14 \text{ m}^3$  / día de aguas residuales de origen industrial. En 1977 se instaló un biorreactor para el reciclado de aguas de un edificio en Japón.

En 1989 y 1990 se instalan biorreactores para el reciclado de aguas residuales en edificios de Estados Unidos, donde en la actualidad la mayoría de los biorreactores instalados tienen ese cometido.

En Japón, la escasez de agua en ciudades como Tokio, está obligando a que se fomente el reciclaje de las aguas residuales en los edificios de más de 15 plantas, mediante el desarrollo de una nueva legislación y el planteamiento de incentivos gubernamentales. ( *American Water Works Association Research Foundation., 1999*).

El proceso del biorreactor de membrana se adapta muy bien a las exigencias del reciclaje de aguas residuales en edificios por ofrecer un sistema compacto que produce agua de excelente calidad.

En Europa, en la actualidad para evitar una crisis frente a una mayor demanda de recursos hídrico, la Comisión Europea ha decidido incentivar el desarrollo de nuevos tratamientos que permitan restituir las aguas residuales municipales al ciclo hidrológico sin generar una peligrosa contaminación en los cauces receptores.

Los proyectos trienales AMADEUS y EUROMBRA, financiados con tres millones de euros de los fondos comunitarios, mediante la prioridad de desarrollo sostenible, cambio planetario y ecosistemas del VI Programa Marco (VI PM), se inscriben dentro del marco de actuaciones que está emprendiendo la Unión Europea.

Los dos proyectos mencionados se orientan a realizar investigaciones en el campo de la tecnología de los biorreactores de membrana.

Los proyectos AMADEUS y EUROMBRA, colaboraran con 25 universidades europeas, una sudafricana y dos australianas, así como con centros de investigación, empresas y operadores de plantas de tecnología de biorreactor de membrana, con el objetivo de reducir los costos económicos y de funcionamiento de esta tecnología, y hacer posible así una mayor participación de las empresas europeas en el mercado de esta tecnología, con relación a otras convencionales.

En Europa, en la actualidad se están utilizando biorreactores de membrana, como el sistema de ultra filtración Huber VRM, como se muestra en la **Fig. 2**.



Fig. 2 Sistema de ultra filtración Huber VRM

En los biorreactores de membrana Huber VRM, las membranas están colocadas en forma de anillo alrededor de un eje giratorio. Dichas membranas son planas y funcionan a baja presión. Cuatro placas de membranas forman un módulo. Una unidad puede tener hasta 60 elementos y disponer de una superficie total de filtración de unos 2,880 m<sup>2</sup>. Los caudales a tratar pueden ser del orden de 75 m<sup>3</sup> / h por unidad. Cuando se precisa tratar caudales superiores, es posible colocar varias unidades en paralelo. (*American Water Works Association Research Foundation., 1999*).

El sistema Huber VRM, está siendo utilizado en Europa en sitios como Knautnaundorf (Alemania), desde el 2001, y en Schwägälp (Suiza), desde el año 2002.

Los sistemas de biorreactores de membrana unen las ventajas de los procesos de fangos activados las ventajas de la filtración con membranas, por ello el uso de biorreactores de membranas permite que:

- El agua producida sea de excelente calidad y cumpla con las exigencias de la normativa europea. Con el empleo de estos sistemas es posible eliminar las etapas de decantación secundaria, filtración y desinfección utilizando membranas de micro filtración (MF) o ultra filtración sumergidas en el reactor biológico (sistemas compactos) o emplazadas en una cámara de filtración anexa.
- La producción de lodos sea muy reducida en comparación con el volumen producido por los sistemas convencionales que se está utilizando actualmente.

- El volumen ocupado por la instalación es 5 a 10 veces menor que los equipos convencionales. Con el empleo de estos sistemas se obtiene un elevado rendimiento de depuración en un espacio muy reducido, ya que es posible disponer de mayor concentración de biomasa, del orden de 16 g/l.
- La instalación pueda soportar importantes variaciones de caudal y de concentración de residuos.
- El sistema admite una fácil limpieza de sus membranas. Para evitar la formación de biocapas que reduzcan el flujo del agua, en los sistemas de baja presión se introduce aire por debajo de las membranas, a fin de que el flujo turbulento generado con esta operación arrastre el fango y al mismo tiempo contribuya a repartirlo de un modo uniforme dentro del biorreactor. Los consumos de aire se sitúan entre los 250 y 1,000 l/ m<sup>2</sup> h.
- La calidad de permeado sea estable con independencia de los picos de carga.
- El sistema sea fácilmente ampliable (modularidad).
- El sistema tenga un mantenimiento mínimo gracias a su alto grado de automatización.
- El bulking o espumas filamentosas sean fácilmente eliminadas gracias al empleo de tamices especiales.

### **Tamices.**

Los biorreactores de membrana, para operar correctamente requieren el empleo de tamices especiales que tienen un funcionamiento más eficaz que los tamices convencionales de desbaste. La presencia de fibras y de pelos, pueden afectar negativamente el funcionamiento de los sistemas de ultra filtración (UF), formando películas en las membranas, por ello se hace necesario utilizar tamices especiales como el Rotamat<sup>R</sup> RoMen de varias capas, que dispone de un tornillo transportador y una tolva de descarga del residuo extraído del AR.

### 3.- Microbiología de aguas residuales.

Los micro organismos se clasifican según sus características celulares, de la misma forma que los vegetales y los animales. Existen dos tipos de micro organismos. El primer tipo es el organismo eucarionte (protista). La mayoría de los organismos son eucariontes, lo que básicamente significa que las células por las que están formados contienen núcleo y otras partes internas rodeados por membrana. El segundo tipo de micro organismos es el procarionte (mónera). Las células procariotas están rodeadas de una membrana, pero no contienen núcleo ni otras partes internas (orgánulos), al contrario que las células eucariotas.

#### **Bacterias**

Bacterias son organismos de una sola célula. Su forma puede ser esférica, espiral, etc. Pueden existir como organismos individuales, formando cadenas, grupos o pares.. **Tienen una longitud entre 0.4 y 14  $\mu\text{m}$  y sobre 0.2 a 12  $\mu\text{m}$  de ancho.** Consecuentemente solo se pueden ver mediante microscopio. Las bacterias se reproducen mediante la replicación del ADN, y división en dos células independientes. En circunstancias normales este proceso dura entre 15 y 30 minutos.

#### **Monera y protistas**

Las móneras son las bacterias y cianobacterias. Son organismos procariontes unicelulares, como fueron mencionamos anteriormente. Las bacterias son muy importantes para otros organismos, porque descomponen la materia orgánica. Durante este proceso se forman nutrientes, que son reutilizados por los vegetales y animales. Algunas de las bacterias que viven en el suelo pueden causar enfermedades, en la **Tabla. 1** se muestra algunas enfermedades provocadas por estas, pero la mayoría de ellos son bastante útiles ya que ayudan a los animales a descomponer los alimentos en su cuerpo. Las bacterias difieren de otros tipos celulares en el hecho de que no tienen núcleo. En los vegetales y animales es allí donde se encuentra el ADN (información genética). En las bacterias el material genético flota dentro de la célula. Se reproducen copiando primero su ADN y luego realizando la división celular.

Las bacterias tampoco tienen orgánulos rodeados de membrana, tales como las mitocondrias, las estructuras celulares implicadas en el metabolismo energético. Las células bacterianas son tan pequeñas que los científicos las miden en unidades llamadas micrómetros ( $\mu\text{m}$ ), una millonésima de metro. Una bacteria promedio mide alrededor de un micrómetro. Las bacterias tienen diferentes tipos de apariencia, tales como bacterias esféricas (cocos) y filamentosas (bacilos), ver Figuras. 3 y 4 .( *Lenntech Agua residual & purificación del aire Holding B.V., 2007*).

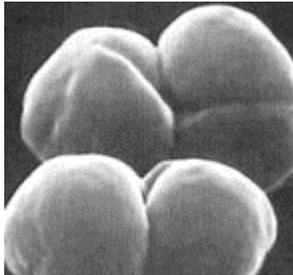


Fig. 3 ***Bacteria esférica***

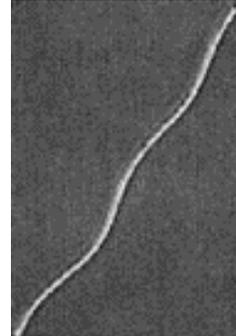


Fig. 4 ***Bacteria filamentosa***

Tabla. 1 **Enfermedades provocadas por algunas clases de Bacterias.**

<b>Bacteria</b>	<b>Enfermedad/infección</b>	<b>Síntomas</b>
Aeromonas	Enteritis	Diarrea muy líquida, con sangre y moco.
Campylobacter jejuni	Campilobacteriosis	Gripe, diarreas, dolor de cabeza y estómago, fiebre, calambres y náuseas.
Escherichia coli (ver fig. 5)	Infecciones del tracto urinario, meningitis neonatal, enfermedades intestinales	Diarrea acuosa, dolores de cabeza, fiebre, uremia homilética, daños hepáticos.
Plesiomonas shigelloides	Plesiomonas-infección	Náuseas, dolores de estómago y diarrea acuosa, a veces fiebre, dolores de cabeza y vómitos.
Salmonella typhi	Fiebre tifoidea	Fiebre
Salmonella sp. (ver fig. 6)	Salmonelosis	Mareos, calambres intestinales, vómitos, diarrea y a veces fiebre leve.
Streptococcus	Enfermedad (gastro) intestinal	Dolores de estómago, diarrea y fiebre, a veces vómitos.
Vibrio El Tor (agua dulce)	Cólera (forma leve)	Fuerte diarrea.

Fuente: Lenntech Agua residual & purificación del aire Holding B.V. [info@lenntech.com](mailto:info@lenntech.com)

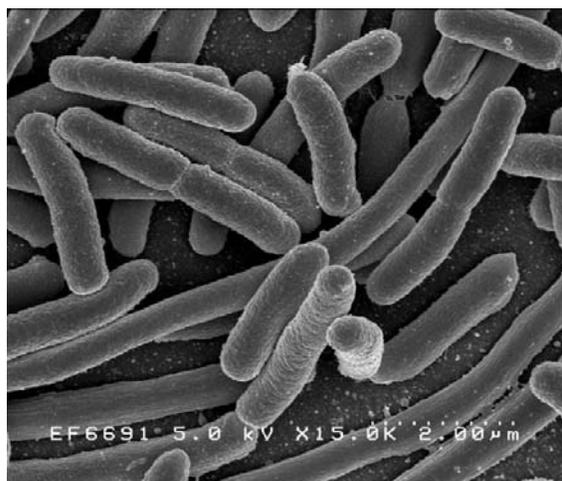


Fig. 5 **Escherichia coli**

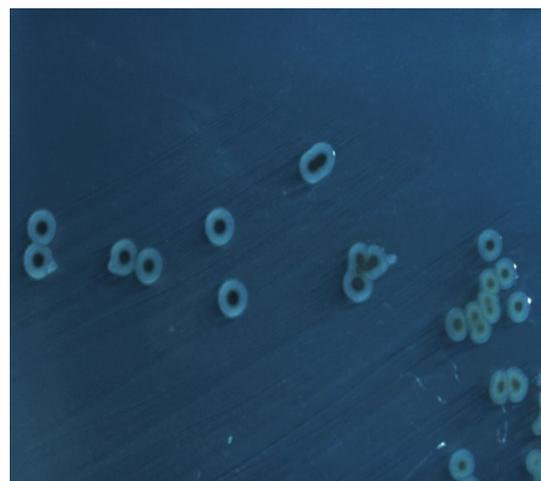


Fig. 6 **Salmonella**

### 3.1 Protozoarios parásitos.

Los protozoarios parásitos son organismos unicelulares. Estos se caracterizan por presentar un metabolismo complejo. Se alimentan a base de nutrientes sólidos, algas y bacterias presentes en organismos multicelulares, como los humanos y animales. Se encuentran frecuentemente en forma de quistes o huevos. Por ejemplo, los huevos de *Cryptosporidium* y quistes de *Giardia* son comunes en aguas afectadas por contaminación fecal. En forma de quistes los patógenos son resistentes a la desinfección por cloro. Los parásitos protozoos se eliminan mediante la filtración y aplicación de hipoclorito de sodio. (Ver figuras 5 y 6).

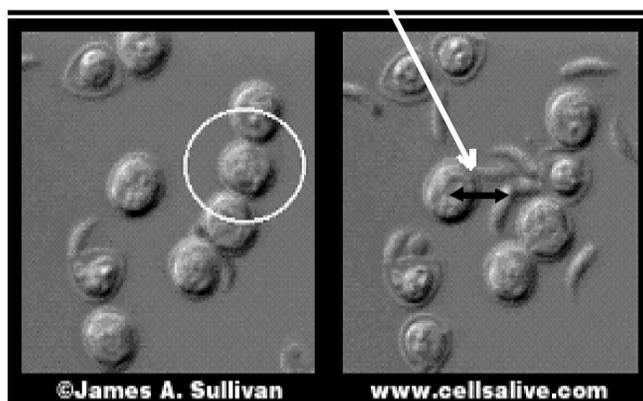


Fig. 7 Micrográficos del escaneo electrónico de oocitos del *Cryptosporidium* (4 a 6 micrones de diámetro)

Fuente: Zenon Municipal Systems. Membrane systems for municipal drinking water treatment. [www.zenon.com](http://www.zenon.com).

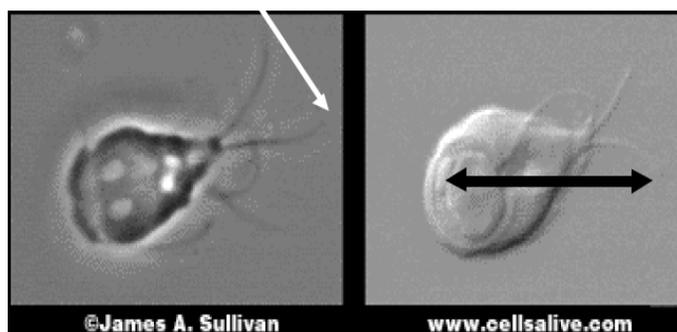


Fig. 8 Micrográficos del escaneo electrónico de *Giardia* (12 a 20 micrones de diámetro)

Fuente: Zenon Municipal Systems. Membrane systems for municipal drinking water treatment. [www.zenon.com](http://www.zenon.com).

## Protistas.

Los protistas son microorganismos eucariontes unicelulares, como hemos mencionado anteriormente. Algunos ejemplos son las amebas, las diatomeas, las algas y los protozoos. Éstos pueden ser un peligro para la salud humana y animal, ya que ciertos protistas pueden ocasionar enfermedades, tales como la malaria o la enfermedad del sueño. Hay una gran variedad de protistas, y habitan diferentes ambientes; agua dulce, agua salada, suelos, y el tracto intestinal de los animales, donde llevan a cabo procesos digestivos decisivos. Muchas especies de protistas son capaces de producir sus propios nutrientes mediante el proceso de la fotosíntesis y muchos protistas también pueden moverse por sí mismos. Los protistas varían enormemente en forma y tamaño; el alga verde *Nanochlorum* mide solamente 0.001 mm de largo, pero las laminarias pueden crecer hasta los 65 m de largo o más.

A veces se pueden encontrar en el agua potable micro organismos causantes de enfermedades. Sin embargo, como hoy en día el agua potable es meticulosamente desinfectada, las enfermedades provocadas por micro organismos son raramente causadas por beber agua. Las personas que nadan en las piscinas encontrarán que el agua en el que nadan está desinfectada con cloro, ozono , UV o dióxido de cloro. Pero hay personas que nadan en el exterior en aguas superficiales todos los años. Estas son las personas más susceptibles de contraer infecciones bacterianas e infecciones causadas por otros micro organismos, porque los micro organismos a menudo acaban en las aguas superficiales a través de vertidos industriales y excrementos animales. Los nadadores de espacios exteriores deben ser cuidadosos y leer los carteles situados en las orillas, porque el agua en la que pretenden nadar puede estar infectada, por ejemplo con el botulismo. Hay varias bacterias y protozoos que pueden provocar enfermedades cuando están presentes en aguas superficiales. Las bacterias no solo pueden provocar enfermedades cuando entran en el cuerpo humano a través de los alimentos, las aguas superficiales también pueden ser una fuente importante de infecciones bacterianas. En la **Tabla. 2** se pueden ver varios tipos bacterias que se pueden encontrar en aguas superficiales, y las enfermedades que causan cuando son ingeridas en grandes cantidades, junto con los síntomas. ( Lenntech Agua residual & purificación del aire Holding B.V., 2007).

**Tabla. 2 Protozoos que se pueden encontrar en aguas superficiales, y las enfermedades que causan cuando son ingeridas en grandes cantidades, junto con los síntomas.**

Microorganismo	Enfermedad	Síntomas
<i>Amoeba</i>	Disenteria amAeeboide	Fuerte diarrea, dolor de cabeza, dolor abdominal, escalofríos, fiebre; si no se trata puede causar abscesos en el hígado, perforación intestinal y muerte
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Criptosporidiosis	Sensación de mareo, diarrea acuosa, vómitos, falta de apetito
<i>Giardia</i>	Giardiasis	Diarrea, calambres abdominales, flatulencia, eructos, fatiga
<i>Toxoplasm gondii</i>	Toxoplasmosis	Gripe, inflamación de las glándulas linfáticas En mujeres embarazadas aborto e infecciones cerebrales

Fuente: ( Lenntech Agua residual & purificación del aire Holding B.V., 2007)

### **Cryptosporidium parvum.**

Los organismos del género *Cryptosporidium* pertenecen a la familia *Cryptosporidia*. Hasta el momento se han identificado y aceptado cerca de doce especies de *Cryptosporidium*, a saber: *C. parvum* con dos genotipos propuestos [*C. hominis* (homínidos) y *C. parvum* (ganado), *C. canis* (perros), *C. felis* (gatos), *C. muris* (roedores), *C. meleagridis* (aves)]; además se han descrito otras especies: *C. baileyi*, *C. ameyvae* (lagartos), *C. lampropeltis* (serpientes), *C. ctenosauris* (lagartos), *C. crotali* (serpientes), *C. nasorum* (peces) y *C. serpentis* (serpientes) y *Cryptosporidium saurophilum*. Cabe señalar, que existe una amplia distribución de los diferentes organismos (primates superiores, mamíferos, aves, reptiles, peces) que son infectados por este protozoario.

El *Cryptosporidium* presenta varios estadios en su ciclo de vida, entre los cuales está el ooquiste, que es una etapa latente que resiste a las condiciones ambientales, y donde muestra la capacidad de sobrevivir por largos períodos bajo condiciones favorables. Este parásito puede causar infecciones intestinales tanto en humanos como en animales y no requiere de huéspedes intermediarios. Se multiplica en el intestino delgado y origina serios problemas en los mecanismos de absorción, pues genera una diarrea aguda que es autolimitada en adultos sanos. También se considera el parásito más importante en la industria del agua porque se le relaciona como agente etiológico responsable de un número importante de epidemias en diversas partes del mundo. Es el patógeno, junto con *Giardia* sp., que se encuentra con más frecuencia en aguas para consumo humano.

Las epidemias mejor documentadas han ocurrido en Inglaterra y Estados Unidos. En el primer país se estudiaron 25 epidemias entre 1988 y 1998, y también se encontró que fue la cuarta causa de diarreas (13%) con una prevalencia mayor en niños entre 1 y 5 años, con fluctuaciones entre 1% y 30% . Entre tanto, en Estados Unidos desde 1985 se analizaron 12 epidemias . En Brasil se determinó que más de 18.7% de las diarreas en infantes se debían a *C. parvum* ; en algunos países latinoamericanos se han establecido cifras de prevalencia así, Argentina, 3.9%; Costa Rica, 4.3%; Venezuela, 10.8%; Ecuador, 11.2%; Guatemala, 13.8%; y 16.7% en Haití . En Colombia se encontró una prevalencia de 83.3% determinada por serología, mientras que por edades se determinó en el grupo de 0 a 14 años una prevalencia de 10.7%, de 15 a 30 años, 20% y en mayores de 30 años, 28.3% . Esto significa que la gran mayoría de la población estudiada ha estado en contacto con el parásito.

En casi todas las epidemias mencionadas se determinó que el agua fue el principal vehículo de transmisión y de hecho se encontraron ooquistes en los diversos tipos de agua de suministro. Se encontraron ooquistes de *C. parvum* en 97% de las muestras en distintas fuentes de agua en los Estados Unidos; de estas muestras 83% eran de manantiales (en los que no había actividad humana) y en 27% a 28% las muestras se tomaron en agua tratada para consumo humano . Todos los tipos de agua presentaban concentraciones de ooquistes, en cantidades muy variables que iban desde 0.002 hasta 65.1 ooquistes/l y con una positividad entre 3.5% y 61% de las muestras evaluadas. **(Rose JB. Pathogenic organisms in drinking water).**

La mayor concentración de ooquistes se vio en aguas de libre circulación agrícola donde hay una alta influencia de la ganadería, pues se encontraron entre 1.5 y 1.9 más ooquistes con respecto a las aguas superficiales donde se vierte agua residual doméstica; en estos mismos sitios la población presentó mayores infecciones . Souza y Lopes **(Souza JCP, Lopes. 1995)** observaron que 61% de terneros menores de 30 días estaban infectados, mientras que 41% presentaron diarrea; en los terneros mayores de 30 días hubo 82.5% de positivos y 49% con diarrea. Se estima que un ternero podría excretar hasta 10 mil millones de ooquistes por día. Otros animales relacionados con los seres humanos y que bajo ciertas circunstancias pueden servir de reservorios son: roedores, perros y gatos. Hasta el momento en la epidemiología de la criptosporidiosis se han visto comprometidas más de 80 especies de mamíferos.

En cifras absolutas, los brotes de criptosporidiosis mejor documentados muestran un impacto importante en la salud pública de comunidades tanto en países industrializados como en desarrollo. El brote más grande ocurrió en Milwaukee, Wisconsin, en los Estados Unidos en 1993 donde se calcula que 400,000 personas se infectaron con *Cryptosporidium* y 100 de ellas murieron. Un evento igualmente perturbador ocurrió en Kitchener-Waterloo, Ontario.

## **Giardia lamblia (duodenalis).**

Presenta dos fases en su ciclo de vida el trofozoito y el quiste. Es un protozoo flagelado parásito, que se encuentra en el intestino delgado de varios animales y del hombre y se transmite en forma de quiste. Causa dolores estomacales, diarrea, náuseas, fatiga, ardor epigástrico y otros síntomas compatibles con úlcera o gastritis. El principal modo de transmisión es la ruta fecal-oral y los niños de las guarderías, escuelas y personas inmunosuprimidas son los grupos que presentan el riesgo más alto de contraer la infección.

Los quistes salen con las heces al ambiente, su supervivencia en estas condiciones depende de la temperatura, a 10°C pueden sobrevivir 77 días, a 20°C disminuye su viabilidad hasta 3 días. El género *Giardia* está ampliamente distribuido en la naturaleza y se ha encontrado en más de 40 especies de animales, que incluyen peces, anfibios, aves y mamíferos. **(Schaefer FW. Detection of protozoan parasites in sources and finished drinking.1997).**

Este protozoo es el parásito que se encuentra con más frecuencia en el agua. En Norte América, es un contaminante común de las aguas superficiales; se han documentado epidemias causadas a través del agua en Estados Unidos, Canadá, Inglaterra y España. Entre 1986 y 1988, se registraron 25 brotes de giardiasis en los Estados Unidos, en algunos de ellos como principales factores de riesgo se demostraron los sistemas de abasto de agua contaminados con aguas residuales domésticas, y en otros casos la contaminación por heces de animales. En casi todos los sitios donde ocurrieron estos brotes, el único tratamiento del agua era la desinfección.

En un estudio hecho en la ciudad de Armenia en Colombia, se determinó, que 60.4% de niños con edades de los 3 a los 13 años presentaban quistes de *Giardia* y 4.6% tenían trofozoitos. Entre los factores de riesgo evaluados se determinó una relación directa con la calidad del agua del acueducto en comparación con el agua obtenida a partir de tanques individuales. En otro estudio en Arboleda (Nariño), se encontró una prevalencia de 7% en el grupo de 0 a 14 años, mientras que en otros grupos de edades no se encontró este parásito.

Al igual que *Cryptosporidium*, la prevalencia y la concentración de ooquistes de este protozoo en el agua son muy variables. Rose **(Rose JB. Pathogenic organisms in drinking water.1989)** determinó que en agua subterránea, agua de deshielo y agua tratada no se encontraron quistes de *Giardia*, otros estudios han determinado concentraciones que van de 0.04 a 66 quistes/l y entre 17% y 81% de las muestras evaluadas.

En las redes de distribución se encontraron quistes de *Giardia* en 22% de las muestras con una concentración de 1.8 quistes/l. Los análisis estadísticos efectuados en varios estudios, demuestran una correlación entre ooquistes de *Cryptosporidium* y quistes de *Giardia*, esto evidencia la posibilidad de una misma fuente de contaminación o suministro.

## Remoción de huevos de *Cryptosporidium* y quistes de *Giardia*.

Los tratamientos del agua para consumo humano remueven en diferentes grados estos dos protozoarios, la filtración lenta en arena es capaz de retirar entre 93% y 100% de *Giardia*. Con *Cryptosporidium*, las remociones han alcanzado entre 99.99% y 99.997%. Se discute con base en la evidencia epidemiológica, que los niveles de quistes de *Giardia* que persisten en el agua potable (0.11 quistes/lit) después de los procesos de filtración no son capaces de causar infecciones.

En sistemas convencionales y filtración directa se han obtenido remociones entre 25% y 86% , se calcula la concentración de estos dos protozoarios en el agua de lavado de los filtros rápidos, tienen concentraciones de quistes de *Giardia* entre 1.4 /lit y de ooquistes de *Cryptosporidium* entre 0.8 /t. Normalmente estas aguas son devueltas a la fuente de abastecimiento de agua, lo que representa un alto riesgo para otros asentamientos humanos que se abastezcan después. **(Schaefer FW. Detection of protozoan parasites in sources and finished drinking.1997).**

En las redes de distribución se pueden encontrar ooquistes y en muestras positivas para *Cryptosporidium* se ha visto una concentración de 1.1 ooquistes/l. El hallazgo de estos protozoos en las redes representa un alto riesgo para la salud, pues a los ooquistes de *Cryptosporidium* no los afectan los niveles de cloro (1.3 mg/l) que por lo general se emplean para desinfectar el agua y son mucho más resistentes que las bacterias entéricas y los virus a los productos químicos usados en el proceso de la desinfección. Por ejemplo, contra los ooquistes de *Cryptosporidium* es necesario usar entre 8.00 y 16.00 mg/l de cloro, mientras la ozonización inactiva 99% de los ooquistes (3). Con 15 mg/l de cloro disminuye en 47% la infectividad de ooquistes y con 80 mg/l y 90 minutos de contacto se obtuvo una disminución en la infectividad del 99% .

Un ejemplo contundente de la transmisión de *Cryptosporidium* a través del agua potable se evidenció en Ontario. La planta de tratamiento de agua potable asociada con un brote de *Cryptosporidium* es un sistema nuevo con tecnología de punta que tiene ozonización antes y después de la sedimentación seguida de un sistema de tratamiento convencional y monitores en tiempo real para parámetros biológicos, químicos y físicos y un sistema SCADA para el seguimiento continuo de todas las variables operativas de las distintas unidades de proceso. La fuente de suministro de agua del sistema es el río Grande, que fluye a través de un área de explotación agrícola sujeta a contaminación por ooquistes. El brote lo descubrió un laboratorio bacteriológico local que analizaba muestras de materias fecales y observó un alto número de muestras positivas para ooquistes de *Cryptosporidium* sp. Una revisión de los registros operativos de la planta demostró que no hubo fallas en las unidades de tratamiento antes, durante, ni después del brote. Las turbiedades efluentes del sistema variaron entre 0.1-0.2 UNT (unidades nefelométricas de turbiedad) en 99% de las veces y de hecho fueron menores a 0.1 UNT en 90% de las veces. Asimismo, no se registraron concentraciones de coliformes totales, coliformes fecales y *E. coli* por encima de la norma en 100% de las muestras. La conclusión final de un equipo de investigadores de la EPA se cita a continuación «Entramos en una nueva era del tratamiento de agua donde a pesar de cumplir o exceder las normas de calidad existentes aún somos confrontados por eventos de esta naturaleza. Hasta ahora nos damos cuenta de los desafíos que debe afrontar la industria del agua para efectuar una gestión efectiva del riesgo».

### **3.2 Otros protozoos de importancia en la industria del agua**

Cada vez es mayor el número de protozoarios patógenos causantes de gastroenteritis en la población humana y el problema aumenta por las diversas rutas ambientales que pueden ser usadas para la transmisión. El agua por sus diversos empleos y calidades juega un papel importante en las vías de transmisión. En este trabajo se incluyeron otros protozoos que tienen una importancia epidemiológica relativa de acuerdo con la región geográfica, el nivel socioeconómico y demográfico de la población y sólo se presentan aquellos en los que se ha documentado que el agua es un elemento de transmisión. (Smith HV, Robertson LJ, 1995).

#### **Amibas de parasitismo obligatorio.**

La principal amiba que se encuentra en el intestino grueso es la *Entamoeba histolytica*. Presenta mayor importancia entre las amibas parásitas del hombre y es un reconocido patógeno que se puede transmitir por el agua, particularmente en áreas tropicales. Es el agente causal de la disentería amibiana, la colitis amibiana, diarreas severas y el absceso hepático.

Los quistes que varían entre 10 y 20 mm, salen en las heces y su propagación se debe a la contaminación fecal. La *E. histolytica* está distribuida en todo el mundo y se transmite a través de alimentos y agua contaminados. En la India se encontró en agua almacenada en varios tipos de recipientes, para utilizarla en actividades como lavado de verduras, bebidas, etc. Parece que la contaminación ocurre por el manejo incorrecto del agua, pues en las fuentes del líquido no se encontró este parásito.

#### **Amibas con parasitismo facultativo.**

*Naegleria fowleri*. El género *Naegleria* pertenece a la familia *Vahlkampfiidae*, que se caracteriza por un estadio biflagelar temporal, casi todas estas amibas no son patógenas. En los humanos causa meningoencefalitis amibiana primaria (MEAP), afección que termina en la muerte. En Brasil se descubrió en un caso de MEAP y se aisló de veinte piscinas en Río de Janeiro, en Venezuela se ha asociado con casos fatales de MEAP, en Colombia se conocen tres casos de MEAP en Medellín, Bogotá y Apartadó<sup>36</sup>. En Chile se ha visto en diferentes tipos de agua dulce y también en aguas termales en Venezuela.

#### **Vahlkampfia.**

Pertenece a la familia *Vahlkampfiidae*. Habita en agua dulce y se ha descubierto en el estroma corneal de personas que usan lentes de contacto desechables. Casi siempre aparece en infecciones mixtas con *Hartmanella* sp.

### **Hartmannella vermiformis.**

Pertenece a la familia Hartmannellidae. Causa problemas oftalmológicos, principalmente keratitis, en quienes emplean lentes de contacto y el riesgo se ha relacionado con el lavado de los ojos o de los lentes con agua contaminada. También pueden causar meningoencefalitis, bronconeumonía y muerte. Estas amibas se han encontrado en agua dulce en Chile con una prevalencia mayor en comparación con otras que presentan parasitismo facultativo. El contacto con agua contaminada y la desnutrición aumentan el riesgo de ser invadido por estas amibas. También se halló, junto con Vahlkampfia sp., en sistemas de agua caliente y en sitios de alta humedad en hospitales. **(Smith HV, Robertson LJ, 1995).**

### **Acanthamoeba griffini, A. culbertsoni y A. castellanii.**

Pertenecen a la familia Acanthamoebidae, son amibas muy comunes en agua dulce y suelos y poseen un grado variable de patogenicidad, ya que se han aislado de la cavidad faríngea y nariz de personas con problemas respiratorios. Este grupo de amibas pueden causar queratitis en personas que utilizan lentes de contacto blandos y el riesgo de contraer esta infección se relaciona con el baño en piscinas y lavar los lentes de contacto con agua de uso doméstico. Parece ser que la desinfección de estos lentes con cloro no disminuye el riesgo. También puede causar lesiones cutáneas en pacientes con HIV (Virus de Inmunodeficiencia Humana) y pérdida de la visión. Esta amiba se aisló en diversos tipos de agua dulce, además en estaciones para el lavado de los ojos, con promedios de 200 amibas/100 ml. En Bogotá se conocen 6 casos de queratitis y en dos casos de rinitis crónica se encontró esta amiba.

### **Balamuthia mandrillaris.**

Causa encefalitis amibiana granulomatosa, se sabe de cuatro casos de esta infección en México.

### **Balantidium coli.**

Pertenece a la familia Balantididae. Es el único ciliado parásito del hombre, el quiste tiene un tamaño entre 45 y 65  $\mu$ m. Muchas personas con este ciliado no presentan síntomas, pero el protozoario puede causar diarreas leves a profusas e incluso disentería fulminante fatal. Los quistes se han encontrado en agua almacenada en viviendas, cuya contaminación parece deberse al manejo inadecuado de los recipientes, una higiene doméstica pobre, que se origina principalmente en la carencia de agua potable y de sistemas de disposición de excretas o tratamiento del agua residual doméstica.

### **Toxoplasma gondii.**

Se han documentado varias epidemias causadas por este parásito y relacionadas al agua. En 1979, en Panamá, 31 de 98 soldados estadounidenses se contaminaron por consumir agua en una zona selvática; en British Columbia (Canadá) se registraron 110 casos, cuyas aguas para consumo humano solamente utilizaban la desinfección como único tratamiento. En Canadá, en 1995, una epidemia de toxoplasmosis originada en el agua para consumo humano, se relacionó con la presencia de este protozoo en el lago Victoria de donde se abastecen las plantas de tratamiento de agua para consumo humano . Posteriormente, se determinó el papel de los gatos domésticos y salvajes así como el de los pumas en mantener la contaminación por oocistas en estas áreas.

### **Cyclospora cayetanensis.**

Es otro de los protozoos más comunes encontrado hasta el momento entre la población humana, sobre todo en individuos inmunocompetentes, es de distribución cosmopolita. Este protozoo causa diarreas y cada vez es mayor el número de países en las cuales se registra, en Perú se asoció con el consumo de agua sin tratamiento.

### **Blastocystis hominis.**

Se asocia con el turismo y el consumo de agua, frutas y vegetales contaminados con heces . Este parásito se encuentra con una alta prevalencia entre la población humana, en Argentina se halló en 43% de niños en edad escolar. También se ha registrado en Venezuela con una prevalencia de 27%. También en este último país 24% de los escolares, principalmente niños entre 9 y 11 años de edad y 23.9% de los ancianos estaban parasitados por este protozoo.

#### 4.- Propiedades físicas y químicas de los sólidos disueltos y suspendidos.

Las suspensiones son mezclas heterogéneas formadas por un sólido en polvo (sólido) o pequeñas partículas no solubles (fase dispersa) que se dispersan en un medio líquido (dispersante o dispersora). Cuando uno de los componentes es agua y los otros son sólidos suspendidos en la mezcla, son conocidas como suspensiones mecánicas.

##### Las suspensiones presentan las siguientes características:

Sus partículas son mayores que las de las disoluciones y los coloides, lo que permite observarlas a simple vista. Sus partículas se sedimentan si la suspensión se deja en reposo.

Los componentes de la suspensión pueden separarse por medio de centrifugación, decantación, filtración y evaporación.

Ejemplos de suspensiones son:

- Medicamentos.
- La arena mezclada con el cemento.
- Las aguas frescas elaboradas con frutas naturales.
- Algunas pinturas vinílicas.

En química un **coloide**, **suspensión coloidal** o **dispersión coloidal** es un sistema físico que está compuesto por dos fases: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa en forma de partículas, por lo general sólidas, de tamaño mesoscópico (es decir, a medio camino entre los mundos macroscópico y microscópico). Así, se trata de partículas que no son apreciables a simple vista, pero mucho más grandes que cualquier molécula. En particular, la comunidad científica define la escala mesoscópica.

El nombre de coloide proviene de la raíz griega *kolas* que significa *que puede pegarse*. Este nombre hace referencia a una de las principales propiedades de los coloides: su tendencia espontánea a agregar o formar coágulos.

Aunque el coloide por excelencia es aquel en el que la fase continua es un líquido y la fase dispersa se compone de partículas sólidas, pueden encontrarse coloides cuyos componentes se encuentran en otros estados de agregación. En la **tabla. 3** se recogen los distintos tipos de coloides según el estado de sus fases continua y dispersa.

Tabla. 3 **Fases Químicas de un coloide.**

		Fase dispersa		
		Gas	Líquido	Sólido
<b>Fase continua</b>	Gas	No es posible porque todos los gases son solubles entre sí	Aerosol líquido, Ejemplos: niebla, bruma	Aerosol sólido, Ejemplos: Humo, polvo en suspensión
	Líquido	Espuma, Ejemplos: Espuma de afeitado	Emulsión, Ejemplos: Leche, salsa mayonesa, crema de manos, sangre	Dispersión coloidal, Ejemplos: Pinturas, tinta china
	Sólido	Espuma Sólida, Ejemplos: piedra Pómez, Aerogeles	Gel, Ejemplos: Gelatina, gominola, queso	Emulsión sólida, Ejemplos: Cristal de rubí

Actualmente, y debido a sus aplicaciones industriales y biomédicas, el estudio de los coloides ha cobrado una gran importancia dentro de la química física y de la **física aplicada**. Así, numerosos grupos de investigación de todo el mundo se dedican al estudio de las propiedades ópticas, acústicas, de estabilidad y de su comportamiento frente a campos externos. En particular, el comportamiento electrocinético (principalmente las medidas de **movilidad electroforética**) o la conductividad de la suspensión completa.

Por lo general, el estudio de los coloides es experimental, aunque también se realizan grandes esfuerzos en los estudios teóricos, así como en desarrollo de simulaciones informáticas de su comportamiento. En la mayor parte de los fenómenos coloidales, como la conductividad y la movilidad electroforética, estas teorías tan sólo reproducen la realidad de manera cualitativa, pero el acuerdo cuantitativo sigue sin ser completamente satisfactorio.

## 4.1 Propiedades de soluciones coloides

Podemos definir los coloides como aquellos sistemas en los que un componente se encuentra disperso en otro, pero las entidades dispersas son mucho mayores que las moléculas del disolvente.

Sus partículas no pueden ser observadas a simple vista.

Los filtros que los coloides no pueden atravesar son las membranas semipermeables, como el papel celofán y el colodión. Sus partículas presentan movimiento browniano y efecto Tyndall.

El **movimiento browniano** es el movimiento aleatorio que se observa en algunas partículas nanoscópicas que se hallan en un medio fluido (por ejemplo polen en una gota de agua). Recibe su nombre en honor a Robert Brown quien lo describe en 1827. En 1785, el mismo fenómeno había sido descrito por Jan Ingenhousz sobre partículas de carbón en alcohol.

El movimiento aleatorio de estas partículas se debe a que su superficie es bombardeada incesantemente por las moléculas del fluido sometidas a una agitación térmica. Este bombardeo a escala atómica no es siempre completamente uniforme y sufre variaciones estadísticas importantes. Así la presión ejercida sobre los lados puede variar ligeramente con el tiempo provocando el movimiento observado.

Tanto la difusión como la ósmosis son fenómenos basados en el movimiento browniano.

La descripción matemática del fenómeno fue elaborada por Albert Einstein y constituye el primero de sus artículos del "año mirabilis" de 1905. La teoría de Einstein demostraba la teoría atómica, todavía en disputa a principios del siglo XX, e iniciaba el campo de la física estadística.

El **Efecto Tyndall** es el fenómeno que ayuda por medio de la dispersión de la luz a determinar si una mezcla homogénea es realmente una solución o un sistema coloidal, como suspensiones o emulsiones. Recibe su nombre por el científico irlandés John Tyndall. Por ejemplo, el efecto Tyndall es notable cuando los faros de un coche se usan en la niebla. La luz con menor longitud de onda se dispersa mejor, por lo que el color de la luz esparcida tiene un tono azulado. La luz que reciben las partículas es desviada de la trayectoria inicial y se hacen visibles las partículas. También por este mismo efecto el cielo se percibe azul. La luz del sol es dispersada por la atmósfera, en mayor medida por la región del espectro electromagnético que corresponde al azul.

En las aguas residuales se encuentran todo tipo de sólidos, distinguiéndose entre ellos orgánicos e inorgánicos. Los sólidos comúnmente se clasifican en suspendidos, disueltos y totales. Toda la materia, excepto el agua contenida en los materiales líquidos, es considerada como materia sólida. La definición más generalizada de sólidos es la que se refiere a toda materia sólida que permanece como residuo después de una evaporación y secado bajo una temperatura entre 103-105 grados centígrados. Sin embargo, existen otras definiciones de sólidos que se aplican en aguas residuales, las cuales se enlistan a continuación:

**Sólidos disueltos:** Los sólidos disueltos, a veces denominados sólidos filtrantes, son aquellos que pasan a través del medio filtrante cuando se determinan los sólidos suspendidos.

**Sólidos disueltos totales:** Indicador de la calidad de sales y sólidos disueltos en una muestra de agua. Existe una relación directa entre los sólidos disueltos totales y la conductividad, ya que ambos miden los compuestos iónicos disueltos.

**Sólidos filtrables:** Son aquellos que atraviesan un filtro que puede retener sólidos de diámetro mayor a una micra.

**Sólidos flotantes/material flotante:** Grasas, sólidos, líquidos y espuma removibles de la superficie de un líquido.

**Sólidos sedimentales:** Se determinan como el volumen de sólidos en un litro de desecho, que sedimenta después de una hora en un cono Imhoff. Se expresa en mililitros por litro.

**Sólidos suspendidos:** Material que permanece en suspensión en el agua residual y se determina como la cantidad de material retenido después de realizada la filtración de una muestra.

**Sólidos suspendidos volátiles:** Representan la fracción de sólidos suspendidos que se volatiliza a 600 grados centígrados.

**Sólidos totales:** Es la cantidad de materia que permanece como residuo después de una evaporación, entre 103 y 105 grados centígrados; estos constituyen la parte de los sólidos suspendidos y los sólidos disueltos.

**Sólidos volátiles:** Son aquellos que se volatilizan a una temperatura de 600 grados centígrados. Si los sólidos totales se someten a combustión bajo una temperatura de 600 grados centígrados durante 20 minutos, la materia orgánica se convierte a  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Esta pérdida de peso se interpreta en términos de materia orgánica o volátil. Los sólidos que no se volatilizan se denominan sólidos fijos.

## 5.- Tipos de membranas y sus características

### Membrana:

Las membranas son barreras físicas semipermeables que separan dos fases, impidiendo su íntimo contacto y restringiendo el movimiento de las moléculas a través de ella de forma selectiva. Este hecho permite la separación de las sustancias contaminantes del agua, generando un efluente acuoso depurado.

### Tipos de Membrana

Las membranas pueden fabricarse en forma de láminas planas, tubulares o del tipo denominado fibra hueca (*hollow fiber*). Ver figuras 9,10 y 11.



Fig. 9 Membranas Planas



Fig. 10 Membranas Tubulares

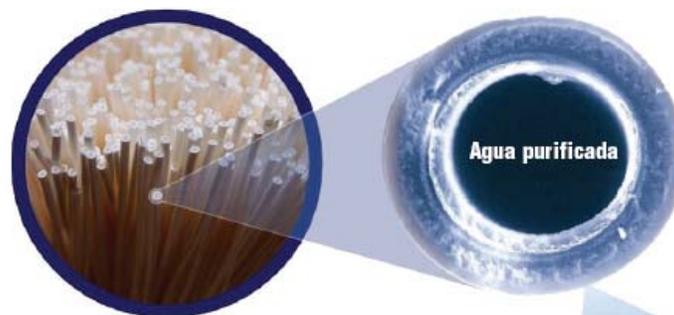


Fig.11 Membranas de Fibra Hueca

## **Tipos de membranas**

Se pueden fabricar con materiales poliméricos, cerámicos o metálicos. Atendiendo a su estructura física se pueden clasificar en:

- 1.- Membranas microporosas.**
- 2.- Membranas densas.**
- 3.- Membranas cargadas eléctricamente.**
- 4.- Membranas anisótropas.**

Estructuras porosas con una estrecha distribución de tamaño de poros. Las membranas que se

### **5.1.- Membranas microporosas**

En este grupo encuadran las que tienen una de distribución de diámetros de poro de 0.001mm – 10mm.

- Se utilizan estas membranas en microfiltración y ultrafiltración.
- Se basan en impedir por exclusión el paso a través de la membrana de aquellos contaminantes de mayor tamaño que el mayor diámetro de poro de la membrana. Este tipo de membranas son:

- **Cartuchos de membranas.**
- **Placa-bastidor.**
- **Módulos de membranas tubulares.**

## Cartuchos de membranas

Estas membranas, convenientemente plegadas, se enrollan alrededor del colector de permeado, empaquetándose en una carcasa de 25 cm de longitud y 6 cm de diámetro que se disponen en línea con el flujo que se desea tratar (alimentación), quedando los contaminantes retenidos en la membrana y generándose un efluente depurado (permeado) **ver fig.12** (*Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales universidad de Alcalá, Madrid España.-2006* ).

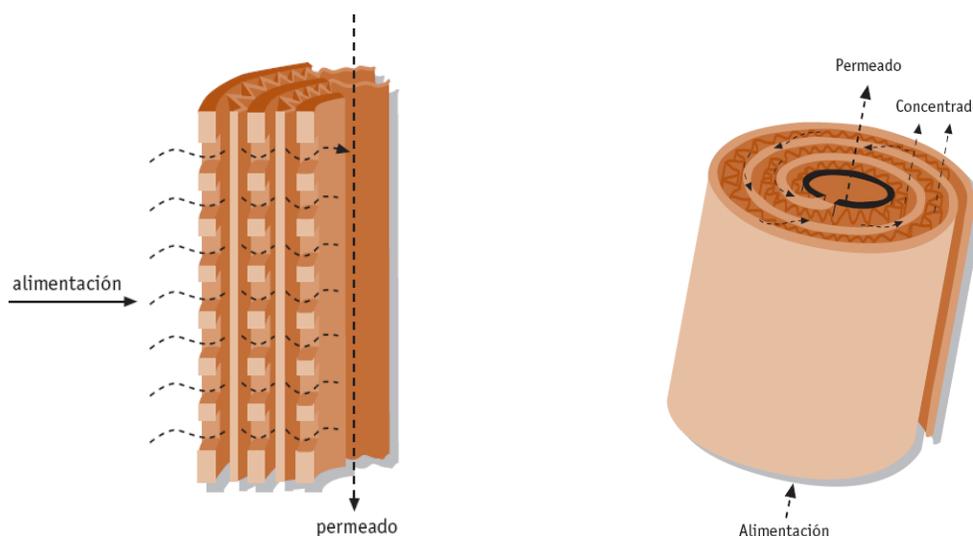


Fig. 12 **Cartuchos de Membrana**

## Módulos tipo placa-bastidor

Una disposición semejante a los filtros-pressa. Las membranas se disponen en bastidores separados por placas. La alimentación, impulsada por una bomba, circula por los espacios placa-membrana, concentrándose en contaminantes conforme tiene lugar el flujo de permeado a través de las paredes de las membranas. **Ver figura.13** (*Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales universidad de Alcalá, Madrid España.-2006* ).

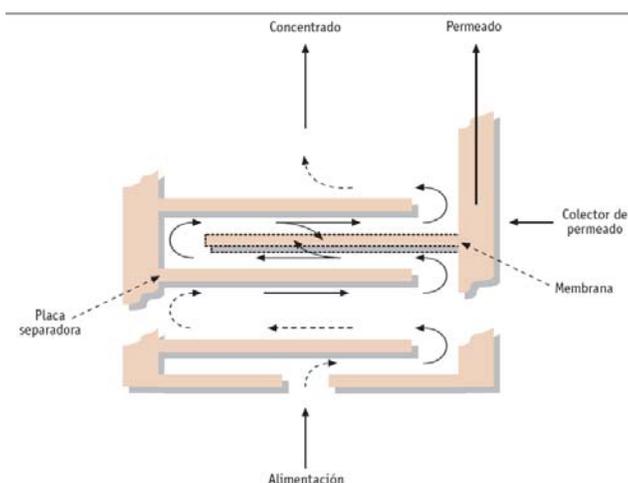


Fig. 13 **Módulos tipo Bastidor**

### • Módulos de membranas tubulares

Constituidos por carcacas cilíndricas que contienen un número variable de membranas tubulares. La alimentación se bombea por el interior de las membranas, produciéndose un flujo lateral de permeado a través de las paredes.

Los módulos tubulares suelen tener longitudes de 13 a 20 cm, con 4 a 6 membranas de 0.5 a 1 cm de diámetro, dispuestas en su interior. La velocidad de circulación de la alimentación por el interior de las membranas es de 2 a 6 m/s. **Ver figura. 14** (*Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales universidad de Alcalá, Madrid España.-2006*).



Fig. 14 Membranas Tubulares

### 5.2.- Membranas densas

Estructuras sin poros donde el paso de las sustancias a través de la membrana sigue un modelo de solución-difusión, en el que los componentes de la solución se disuelven en la membrana y posteriormente se difunden a través de ella. La diferente solubilidad y difusividad de los componentes de la solución en la membrana permiten la separación de sustancia del tamaño de moléculas e iones. La ósmosis inversa y la nanofiltración son procesos que utilizan este tipo de membranas. **Ver figura.15** (*Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales Universidad de Alcalá, Madrid España.-2006*).

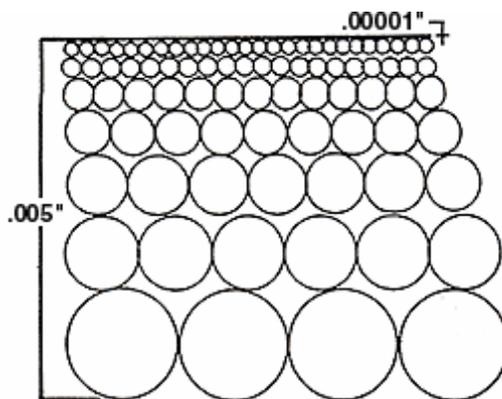


Fig. 15 Sección transversal de la membrana

### 5.3.-Membranas cargadas eléctricamente

Pueden ser porosas o densas, con restos aniónicos o catiónicos fijos en la estructura de la membrana.

La separación también depende de la carga y concentración de los iones de la solución: los iones monovalentes son excluidos menos eficazmente que los divalentes, así mismo, el proceso de separación es menos efectivo en soluciones de elevada fuerza iónica.

La separación es consecuencia de la carga de la membrana, siendo excluidos aquellos componentes cuya carga sea la misma que la de la membrana. **Ver figura. 16** (*Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales Universidad de Alcalá, Madrid España.- 2006* ).

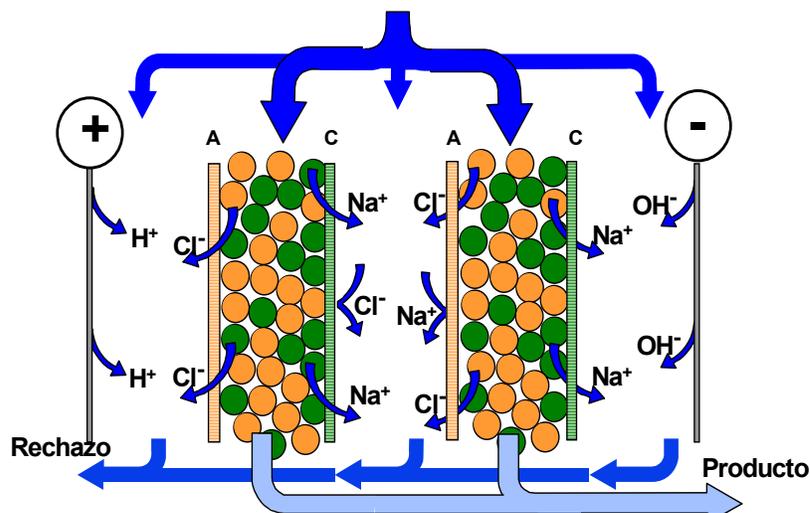


Fig.16 **A - Membrana permeable a Aniones**  
**C- Membrana permeable a Cationes**

### 5.4.- Membranas anisótropas

Son estructuras laminares o tubulares donde el tamaño de poro, la porosidad o la composición de la membrana cambia a lo largo de su espesor.

Debido a que la velocidad de paso de las sustancias a través de la membrana es inversamente proporcional a su espesor, las membranas deberán ser tan delgadas como sea posible.

constituidas por una delgada película (densa o con poros muy finos) soportada en otra más gruesa y porosa, de tal forma que la primera es la responsable del proceso de separación y la segunda aporta al sistema la suficiente resistencia mecánica para soportar las condiciones de trabajo. **Ver figura.17** (*Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales Universidad de Alcalá, Madrid España.-2006* ).

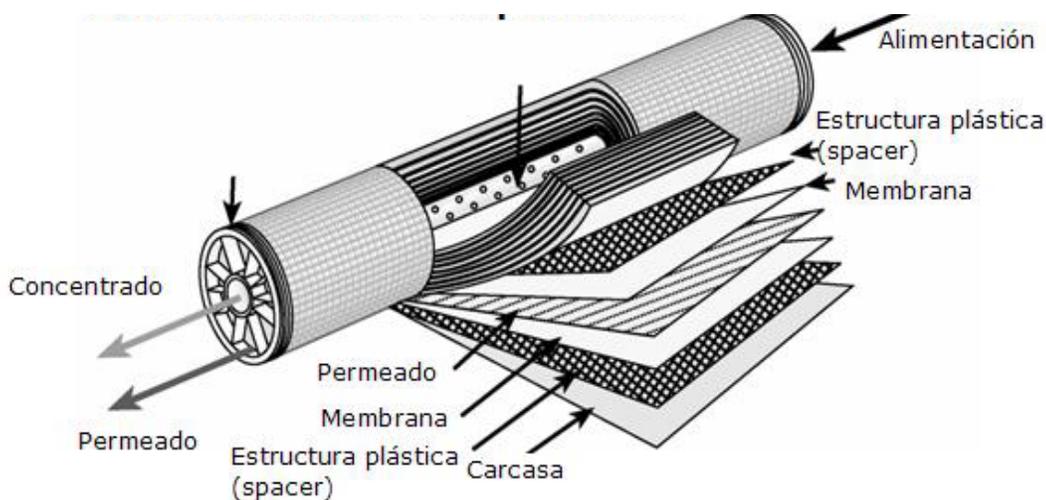


Fig. 17 **Membranas espirales**

Según la composición de la membrana, se trata de membranas Simétricas, asimétricas o composit: (ver figuras 18,19 y 20).

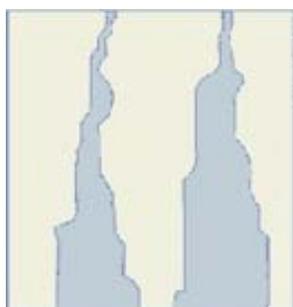


Fig. 18 **Membrana asimétrica**

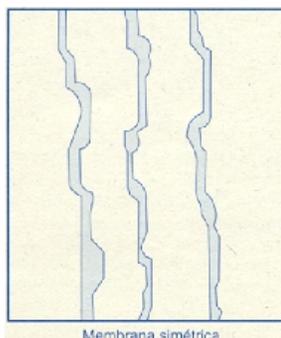


Fig. 19 **Membrana simétrica**

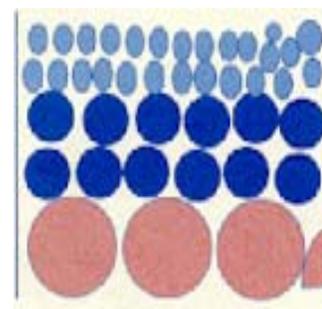


Fig. 20 **Membrana composit**

## 6.- Microfiltración, Ultrafiltración y Nanofiltración

**Microfiltración (MF):** Separa los contaminantes hasta  $0.1\mu$  de tamaño. Esta operación permite eliminar quistes, bacterias y la mayoría de las partículas. Por lo tanto su utilización es principalmente en la eliminación de partículas (clarificación). Las presiones de funcionamiento para la MF son similares a las de la UF. **Ver figura. 21** ([www.mmsiberica.com/tecnología.htm](http://www.mmsiberica.com/tecnología.htm)).

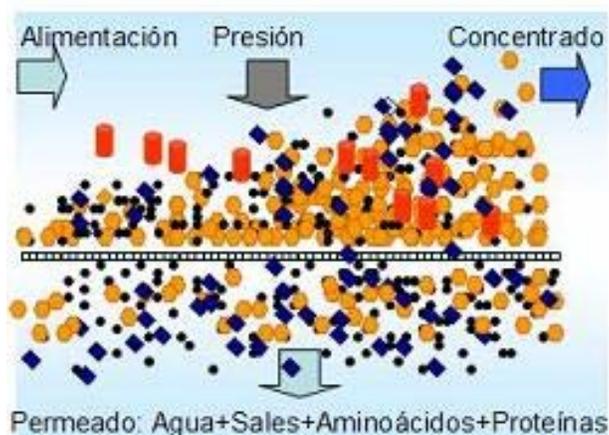


Fig. 21 **Microfiltración**

**Ultrafiltración (UF):** Es un proceso de membranas que se utiliza para eliminar partículas (clarificar) y desinfectar el agua. Al contrario que las membranas que cambian la naturaleza química del agua como la OI o la NF, la ultrafiltración respeta la composición química del agua. La UF elimina contaminantes hasta  $0.01\mu$ .

Estas membranas son porosas y eliminan quistes, bacterias, virus, sólidos en suspensión y partículas de hierro y manganeso. Este tipo de membranas no son eficaces en la eliminación de compuestos orgánicos naturales o sintéticos. La UF es similar a la coagulación y la filtración de arena, en cuanto que se usa como pre tratamiento para las aguas potables.

Dado que la UF no retiene los solutos de bajo peso molecular, la contrapresión osmótica es inapreciable y las presiones de funcionamiento son entre 0.15 a 4.5 bares. **Ver figura. 22** ([www.mmsiberica.com/tecnología.htm](http://www.mmsiberica.com/tecnología.htm)).

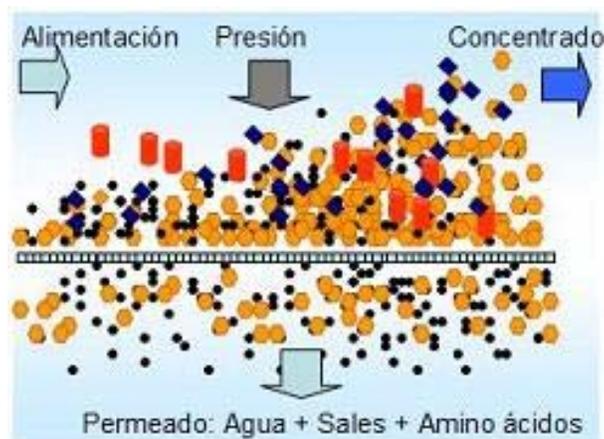


Fig. 22 **Ultrafiltración**

**Nanofiltración (NF):** También llamada osmosis de baja presión. Están diseñadas para eliminar iones multivalentes (calcio y magnesio) en las operaciones de ablandamiento de aguas. Al igual que la OI la NF utilizan filtración y difusión como técnica de separación. La NF elimina contaminantes de hasta  $0.001\mu$  de tamaño. Esto incluye quistes, bacterias, virus, materia orgánica, sales, dureza, patógenos, pesticidas, turbidez, pesticidas y casi todos los contaminantes conocidos. Funcionan a presiones entre 5-10 bares. El rendimiento es hasta del 90%. Tanto la OI como la NF son membranas adecuadas para la eliminación de sólidos disueltos pero deficientes para la eliminación de sólidos en suspensión. La OI y la NF necesitan de un pre tratamiento para aguas con sólidos en suspensión. **Ver figura. 23** ([www.mmsiberica.com/tecnología.htm](http://www.mmsiberica.com/tecnología.htm)).

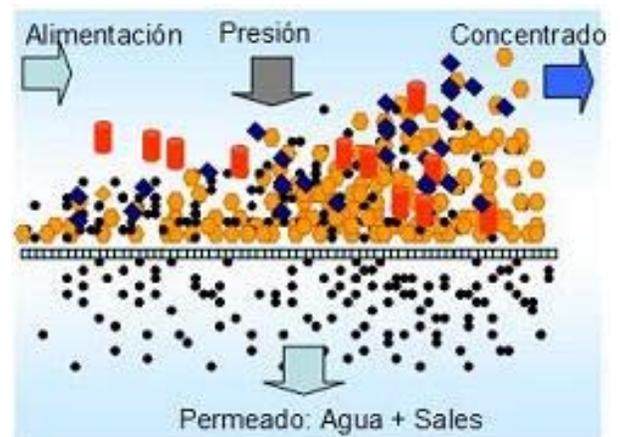


Fig. 23 **Nanofiltración**

## **7.- Tratamiento del agua**

**El tratamiento del agua puede resumirse en los siguientes pasos:**

### **Captación.**

La captación de aguas superficiales se realiza por medio de tomas de agua que se hacen en los ríos o diques.

El agua proveniente de ríos está expuesta a la incorporación de materiales y microorganismos requiriendo un proceso más complejo para su tratamiento. La turbiedad, el contenido mineral y el grado de contaminación varían según la época del año (en verano el agua de nuestros ríos es más turbia que en invierno).

La captación de aguas subterráneas se efectúa por medio de pozos de bombeo ó perforaciones.

### **Conducción.**

Desde la toma de agua del río hasta los pre sedimentadores, el agua se conduce por medio de tuberías ó canales abiertos.

Esta etapa se realiza en piletas preparadas para retener los sólidos sedimentables (arenas), los sólidos pesados caen al fondo. En su interior las piletas pueden contener placas o seditubos para tener un mayor contacto con estas partículas. El agua pasa a otra etapa por desborde.

### **Agregado de productos químicos.**

El agregado de productos químicos (coagulantes) se realiza para la desestabilización del coloide o turbiedad del agua.

### **Floculación.**

En los floculadores pueden ser mecánicos o hidráulicos, se produce la mezcla entre el producto químico y el coloide que produce la turbiedad, formando los floculos.

Los floculadores mecánicos son paletas de grandes dimensiones, y velocidad de mezcla baja. Los hidráulicos con canales en forma de serpentina en la cual se reduce la velocidad de ingreso del agua produciendo la mezcla.

## Sedimentación.

La sedimentación se realiza en decantadores o piletas de capacidad variable, según el diseño de la Planta . En ellos se produce la decantación del floculo, que precipitan al fondo del decantador formando barros. Normalmente el tiempo de retención hidráulica que se produce en esta zona es de 40 minutos a una hora.

Los decantadores o sedimentadores es su tramo final poseen vertederos en los cuales se capta la capa superior del agua – que contiene menor turbiedad – por medio de estos vertederos el agua pasa a la zona de filtración. (**ver figura. 24**).

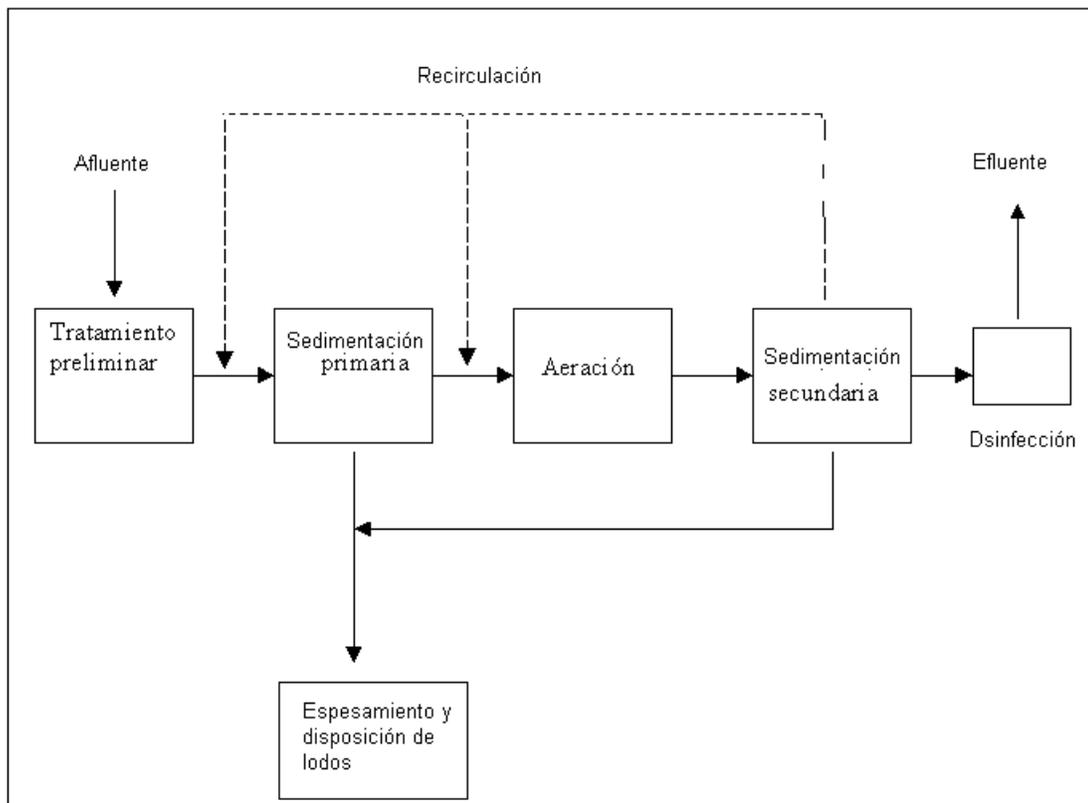


Fig. 24 Tratamiento convencional de aguas residuales.

## **Filtración.**

La filtración se realiza ingresando el agua sedimentada o decantada por encima del filtro. Por gravedad el agua pasa a través de la arena la cual retiene las impurezas o turbiedad residual que queda en la etapa de decantación.

Una vez que el filtro colmató su capacidad de limpieza, se lava ingresando agua limpia desde la parte inferior del filtro hacia arriba, esto hace que la suciedad retenida en la arena, se desprende de la misma.

## **Desinfección.**

Una vez que el agua fue filtrada, pasa a la reserva, allí se desinfecta según distintos métodos. El más usado es el agregado de cloro líquido. El cloro tiene la característica química de ser un oxidante, lo cual hace que se libere oxígeno matando los agentes patógenos, por lo general bacterias anaeróbicas.

Otros desinfectantes utilizados son: hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio (pastillas), ozono, luz ultravioleta, etc.

Durante el proceso del tratamiento se realizan controles analíticos de calidad. Como hemos visto, al tratar las distintas fuentes de abastecimiento, algunas aguas pueden necesitar un tratamiento corrector previo a su entrega al consumo.

Las aguas provenientes de fuentes subterráneas profundas, galerías filtrantes o manantiales, pueden ser entregadas directamente al consumo, siempre que sean químicamente apropiadas y si se tiene en cuenta todas las previsiones necesarias en su captación para evitar su contaminación. Es decir, estas aguas son en general naturalmente potables. Solo se recomienda un tratamiento con cloro para resguardarla de cualquier contaminación accidental en la red de distribución.

El tratamiento del agua puede ser físico, químico o microbiológico.

**a) Físico:** El tratamiento para este fin consiste en :

1) Eliminación de la turbiedad y el color; es decir la eliminación de materias en suspensión, finamente divididas, que no asientan fácilmente, acompañadas muchas veces de materias orgánicas coloidales o disueltas, que no son retenidas por la simple filtración. Para ello es necesario un tratamiento previo con coagulante químico, seguido de decantación o clarificación y luego filtración, a través de un manto de arena u otro material inerte y finalmente un tratamiento de desinfección, más o menos intenso, según el grado de contaminación.

2) Eliminar o reducir la intensidad de los sabores u olores para lo cual se recomiendan distintos procedimientos, que dependen de la naturaleza del problema, como son: aireación, carbón activado, uso de cloro u otros oxidantes, como el ozono, etc., y algunas veces combinando con tratamiento previo del agua natural con un alguicida.

**b) químico:** El tratamiento corrector químico se refiere a la corrección del pH del agua, a la reducción de la dureza, a la eliminación de los elementos nocivos o al agregado de ciertos productos químicos, buscando siempre mejorar la calidad del agua.

1) La corrección del pH puede hacerse agregando cal o carbonato de sodio, antes o después de la filtración. La reducción de la dureza, puede hacerse por métodos simples ( cal, soda, Zeolita o resinas) o métodos compuestos ( cal-soda; ca-zeolita, cal-resinas). La eliminación de elementos nocivos puede referirse a bajar los contenidos excesivos de hierro, manganeso, flúor, arsénico o vanadio. Por último con respecto al agregado de productos químicos, decimos que se refiere al agregado de flúor( prevenir caries).

### **C) bacteriológico:**

1.- El tratamiento bacteriológico se refiere casi exclusivamente a la desinfección con cloro, pudiéndose utilizar cloro puro, sales clorogenas o hipocloritos. Las dosis a utilizar generalmente se fijan en base al cloro residual, cuyo valor debe estar entre 0.05 mg/ l y 0.1 mg/l para quedar a cubierto de cualquier contaminación secundaria.

## **Aplicación de la energía solar y la luz ultravioleta en el tratamiento del agua.**

Los tratamientos del agua para desinfectarla y hacerla aprovechable para el consumo humano directo ocupan un lugar importante dentro del desarrollo actual de la ciencia.

Las zonas rurales con insuficientes recursos sanitarios, energéticos, culturales y económicos resultan las regiones más afectadas por el consumo directo del agua contaminada, por lo que se hace imprescindible elegir alternativas de tratamiento que garanticen la obtención de buenos resultados para la salud con la mínima inversión posible.

En la selección del tratamiento más adecuado para la desinfección del agua para el consumo humano deben tenerse en cuenta diversos aspectos, como el nivel de riesgo a la salud de la población, el consumo energético, los costos y la eficacia, entre otros.

Existen variados métodos para lograr la desinfección del agua, algunos tradicionales y con amplia experiencia acumulada en su uso, y otros de relativa nueva aplicación.

El método más antiguo y universal para la desinfección del agua a escala domiciliar es el de la ebullición, que logra la eliminación de los elementos patógenos que se transmiten mediante el agua.

No obstante, hervir el agua consume grandes cantidades de combustible, lo que provoca una agresión contra la vegetación por el uso de la leña, y un incremento de la contaminación atmosférica por el empleo de la leña o el keroseno, además de requerir gran esfuerzo personal en su aplicación.

Dentro de los métodos químicos, el tratamiento con cloro es el más usado. Es muy efectivo para eliminar microorganismos patógenos y oxidar la materia orgánica presente en el agua, y mantiene una concentración residual de cloro en el agua que previene contra un nuevo crecimiento microbiano y la contaminación del agua con posterioridad a su tratamiento. Por otra parte, requiere de una dosificación específica, para lo cual no siempre se cuenta con el técnico calificado. De aplicarse una dosis excesiva, el sabor y olor del agua se afectan y se introducen riesgos para la salud. Dosis deficientes pueden ser ineficaces. La introducción del almacenamiento del cloro en la vivienda produce un riesgo adicional. El tratamiento con cloro resulta eficaz y económico en ciudades con sistemas de distribución de agua, por su procesamiento centralizado.

La filtración del agua se utiliza desde el siglo XIX para eliminar la turbiedad, los quistes y los protozoos, pero no es eficaz para suprimir las bacterias o los virus.

El tratamiento con ozono resulta ser un método eficaz, aunque requiere de equipos específicos y un alto costo relativo.

El uso de la luz ultravioleta es seguro y no presenta riesgos de manipulación, el agua tratada no se altera en olor ni sabor y la desinfección es rápida, aunque requiere de energía eléctrica para las lámparas. La radiación ultravioleta es efectiva contra un gran espectro de microorganismos y no genera subproductos en su utilización, ni al agua ni al medio.

La tecnología actual permite obtener suficientes niveles de energía eléctrica en regiones apartadas, con el uso de sistemas solares fotovoltaicos.

Para la presente aplicación se han considerado preferiblemente los lugares que utilizan agua de pozos, ríos o embalses para el consumo humano y que la almacenan en tanques relativamente pequeños o recipientes dentro de las casas, situaciones donde por lo general no existen bombas de agua que mantengan un flujo constante.

## 7.1 Desinfección del agua

La desinfección del agua debe ser un hábito incorporado cuando no conozcamos con exactitud la procedencia del agua. A diferencia de las zonas urbanas la desinfección del agua en zonas alejadas requiere de sistemas rápidos, pequeños, livianos, simples y seguros., por la misma razón es importante que ocupe poco espacio y lógicamente deberá ser seguro, ya que el agua deberá quedar libre de microorganismos.

El objetivo es la eliminación de micro organismos que se encuentran habitando en el agua. Se busca la eliminación de las bacterias, parásitos y virus. La mayoría de nosotros sabemos que las aguas de las zonas poco desarrolladas están contaminadas lo que no sabemos es de la muchas formas que estamos consumiendo esa agua.

Los métodos para el tratamiento del agua pueden ser mediante el calor, la microfiltración o las sustancias químicas, o la combinación de dos de estas.

### Calor

Es uno de los métodos más conocidos por todos, es un método confiable. A medida que la altura aumenta el agua hierve a menor temperatura, no obstante esta sigue siendo suficiente para eliminar a los micro organismos patógenos responsables de infecciones (incluyendo quistes parásitos, bacterias y virus), la leche se puede desinfectar también por calentamiento a 72°C. **En la tabla. 4** se muestran temperaturas de ebullición del agua a diferentes alturas.

Si bien es uno de los métodos más utilizados en las zonas urbanas, en especial en los hogares donde no cuentan con la correcta obtención del agua, es un método lento y poco práctico para las zonas agrestes, siendo completamente obsoleto cuando son grandes cantidades de agua las que se tienen que desinfectar, por lo que es un factor más que hace a este método poco práctico para la obtención de agua segura en la naturaleza.

**Tabla 4.-** Temperaturas de ebullición del agua a diferentes alturas.

Altura	T de ebullición
0 mts	100 °C
3000 mts	90 °C
4300 mts	86 °C
5500 mts	82 °C
8800 mts	71 °C

## **Microfiltración.**

Es un método para potabilizar el agua que elimina de forma efectiva los micro organismos grandes como las Giardias y la mayoría de las bacterias. Pero los poros de los filtros son lo bastante grandes como para eliminar los virus, lo que hace que sea indispensable la combinación con algún método químico para que realmente sea efectivo, este sería el inconveniente principal del sistema de microfiltración.

Otro de los inconvenientes es que los filtros suelen ser bastante grandes y resultan incómodos a la hora de ser transportados. También suelen ser caros, soliendo tapar con facilidad, costando las piezas de recambio tanto como el filtro entero.

Estos filtros eliminan los huevos y los quistes parásitos de manera muy efectiva, lo que hace que luego a la hora de complementarlo con un método químico, se pueda bajar la dosis al mínimo, ya que se necesitan elevadas concentraciones de químicos para eliminar los quistes parásitos y las bacterias. Debido a que el tamaño del poro de los sistemas de microfiltración son en el orden de 0.2 micrones, los huevos, quistes y bacterias son retenidos en el filtro, debido a que su dimensión es mayor. A continuación se indican el tamaño promedio de estos micro organismos.

- Quiste de Giardia           6           micrones
- Bacteria                    0.3 - 1.5   micrones
- Virus                        0.004 - 0.06 micrones

## **Químicos en general.**

Existen muchos sistemas efectivos pero los que nos interesan en especial son a base de lodo o Cloro, ya que son los más sencillos de utilizar y los que menor costo tienen. Estos sistemas a base de lodo o Cloro tienen eficacia comprobada por su uso prolongado.

## **Químicos a base de Cloro.**

Muchos de los sistemas de agua corriente potabilizan mediante la utilización de cloro, pero la acción desinfectante del cloro es bastante más lenta que la del yodo (tres veces mayor).

El cloro es EFECTIVAMENTE el elemento más importante que existe para la desinfección del agua. Se suele usar en una dosis de 0.0001% que destruye todos los microbios en cuatro minutos. Además se usa para:

1. Eliminar olores y sabores.
2. Decolorar.
3. Ayudar a evitar la formación de algas.
4. Ayudar a quitar el hierro y manganeso.
5. Ayudar a la coagulación de materias orgánicas.

## **Hipoclorito Cálcico.**

Este producto es muy útil para tratar grandes volúmenes de agua,. Básicamente consiste en añadir al agua 27 gramos o más de hipoclorito cálcico por cada litro, al poco tiempo el agua genera un fuerte e inconfundible olor a cloro debido a una concentración de este gas, mucho más de lo necesario para eliminar a todo tipo de micro organismos patógenos. Luego de unos 30 minutos se deberá de agregar unas 6 gotas por cada 4 litros de agua de peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) al 30 por ciento para eliminar el cloro excedente; al acabar con este gas, el peróxido de hidrógeno elimina también el fuerte olor a cloro en el agua.

Hay que tener mucha precaución con el peróxido de hidrógeno, ya que concentrado al 30 por ciento es cáustico, y como toda sustancia química cáustica puede ocasionar quemaduras muy severas si se tiene contacto con esta. Este método de agregar más cloro del necesario y luego eliminarlo se conoce como supercloración, y es un sistema confiable, la presencia del inconfundible olor fuerte a cloro indica que el agua está siendo desinfectada eficazmente, también este sistema cumple con los requisitos de liviano poco voluminoso y relativamente sencillo (por más que conste de 2 sustancias para añadir al agua), el precio que tienen estos sistemas es bajo (no tanto como los a base de yodo).

## Químicos a base de Yodo

El yodo es capaz de desinfectar de manera confiable aguas muy contaminadas, este actúa de forma más rápida que el cloro y resiste mejor la inactivación por compuestos orgánicos. Se ha demostrado repetidas veces que una concentración de 8 miligramos por litro de yodo en aguas transparentes, durante diez minutos, elimina eficazmente la presencia de bacterias, virus y quistes parásitos. Una concentración de 0.5 miligramos por litro de yodo sirve efectivamente para eliminar las bacterias y los virus, por lo tanto esta concentración se utiliza para el agua previamente filtrada, con los métodos de microfiltración.

Hay que tener en cuenta que si el agua es fría (0°C a 5°C) el tiempo que deberá dejarse actuar al yodo es el doble (20 minutos). Las aguas turbias que presentan partículas en suspensión necesitan una concentración del doble (16 miligramos por litro) o un tiempo de contacto del doble (20 minutos), esto es para compensar la combinación del producto con los compuestos orgánicos.

Si se dispone de más tiempo para la potabilización del agua es posible la utilización de menores concentraciones. Usar una concentración de 4 miligramos por litro es correcto si el tiempo que contamos es de 20 minutos, también se pueden utilizar concentraciones de 2 miligramos por litro si el tiempo de exposición es de 40 minutos. Hay que tener en cuenta que la funcionalidad del yodo está en directa relación con el tiempo de contacto con el agua a desinfectar.

Es recomendable que las personas con disfunción tiroidea, consulten con un médico y prueben cómo reaccionan en sus hogares al agua desinfectada con yodo antes de hacerlo en zonas alejadas. En caso de que el médico no recomiende la exposición o haya reaccionado de manera no satisfactoria, una alternativa son los sistemas a base de cloro, o los que combinan la microfiltración con los sistemas de cloro.

Si bien es conocido que el yodo es tóxico, los estudios han demostrado que las personas con una función tiroidea normal pueden consumir agua a diario desinfectada con 8 miligramos por litro, durante varios meses, sin ningún tipo de efecto colateral, incluso esta concentración puede reducirse a 0.5 miligramos por litro si se acompaña con una microfiltración, eliminando así todo tipo de riesgo por el yodo.

Las mujeres embarazadas deberán de consultar al médico antes de empezar a consumir agua potabilizada por productos a base de yodo.

## **Hidroperioduro de tetraglicina**

Una pastilla disuelta en un litro de agua nos da la concentración de iodo que necesitamos para obtener una desinfección adecuada del agua (8 mg/l). Son muy fáciles y prácticas de utilizar. La fecha de vencimiento es lo suficientemente prolongada como para que puedan durar meses, siendo baja la pérdida de iodo. Es importante que estas pastillas se guarden en un lugar hermético y luego de abierto el frasco deberán tirarse al cabo de unos meses, ya que este producto tiene tendencia a disociarse con la exposición al aire.

## **Soluciones alcohólicas concentradas de iodo**

Una solución de iodo concentrada, de 8 gramos de iodo en 100 centímetros cúbicos de alcohol es suficiente para potabilizar mil litros de agua. Los 8 miligramos necesarios para la desinfección de un litro de agua son suministrados por tan solo 0.1 centímetro cúbico de solución. Esta preparación es muy segura y estable, hay que tener en cuenta que el frasco en el que se transporte deberá estar siempre tapado ya que si el alcohol se evapora, la concentración de iodo aumentara. Este tipo de soluciones alcohólicas no se congelan lo que hace que este método sea muy práctico para zonas frías con temperaturas por debajo de los 0°C.

## **Tintura de iodo**

La principal ventaja de este producto es que se encuentra muy fácilmente en cualquier lugar, principalmente en lugares donde es complicado encontrar otros métodos. Pero una de las desventajas más grandes que tiene es su sabor, ya que el sabor impartido por la tintura de iodo es mucho más fuerte que otras preparaciones de iodo. Esta también resiste la congelación como las preparaciones alcohólicas.

Hay muchos tipos de preparaciones, por lo que es muy importante saber la concentración para determinar la cantidad de iodo que hay que suministrarle al agua, por ejemplo, 0.4 cc de una solución al 2 por ciento en un litro de agua proporciona una cantidad de 8 mg/l de iodo.

## **7.2 Metales pesados presentes en el agua**

### **Arsénico**

La presencia de arsénico en el agua puede ser el resultado de la disolución del mineral presente en el suelo por donde fluye el agua antes de su captación para uso humano, por contaminación industrial o por pesticidas.

La ingestión de pequeñas cantidades de arsénico puede causar efectos crónicos por su acumulación en el organismo. En el caso de descargas a cuerpos de agua natural, se debe hacer de forma controlada, no rebasando los límites máximos permisibles de contaminantes señalados en la normatividad vigente.

### **Zinc**

La presencia del zinc en el agua puede deberse al deterioro de las tuberías de hierro galvanizado y a la pérdida del zinc del latón. En tales casos puede sospecharse también la presencia de plomo y cadmio por ser impurezas del zinc, usadas en la galvanización. También puede deberse a la contaminación con agua de desechos industriales.

### **Cadmio**

El cadmio puede estar presente en el agua a causa de la contaminación industrial o por el deterioro de las tuberías galvanizadas.

El cadmio es un metal altamente tóxico y se le ha atribuido varios casos de envenenamiento alimenticio.

### **Cromo**

El cromo hexavalente (raramente se presenta en el agua el cromo en su forma trivalente) es cancerígeno, y en el agua potable debe determinarse para estar seguros de que no está contaminada con este metal.

La presencia del cromo en el tratamiento del agua puede originarse por desechos de industrias que utilizan sales de cromo, en efecto para el control de la corrosión de los equipos, se agregan cromatos a las aguas de refrigeración. Es importante tener en cuenta la industria de curtiembres ya que allí utilizan grandes cantidades de cromo que luego son vertidas a los ríos donde kilómetros más adelante son interceptados por bocatomas de acueductos.

### **7.3 Etapas del sistema de tratamiento de la planta de aguas residuales de origen doméstico del conjunto habitacional.**

La planta de tratamiento para aguas residuales que se tomó para este estudio, fue diseñada para un conjunto Habitacional de 210 viviendas de interés social, basada en las características de un efluente doméstico típico, con la finalidad de que el agua tratada cumpla con la calidad que permita su posterior reúso, estrictamente en la reutilización que marca la NOM-003-SEMARNAT-1997, ubicada en la carretera Picacho- Ajusco y encinos a, la altura del Km.- 4.5, colonia ampliación Miguel Hidalgo, Delegación Tlalpan, México D.F. (ver figura. 25).

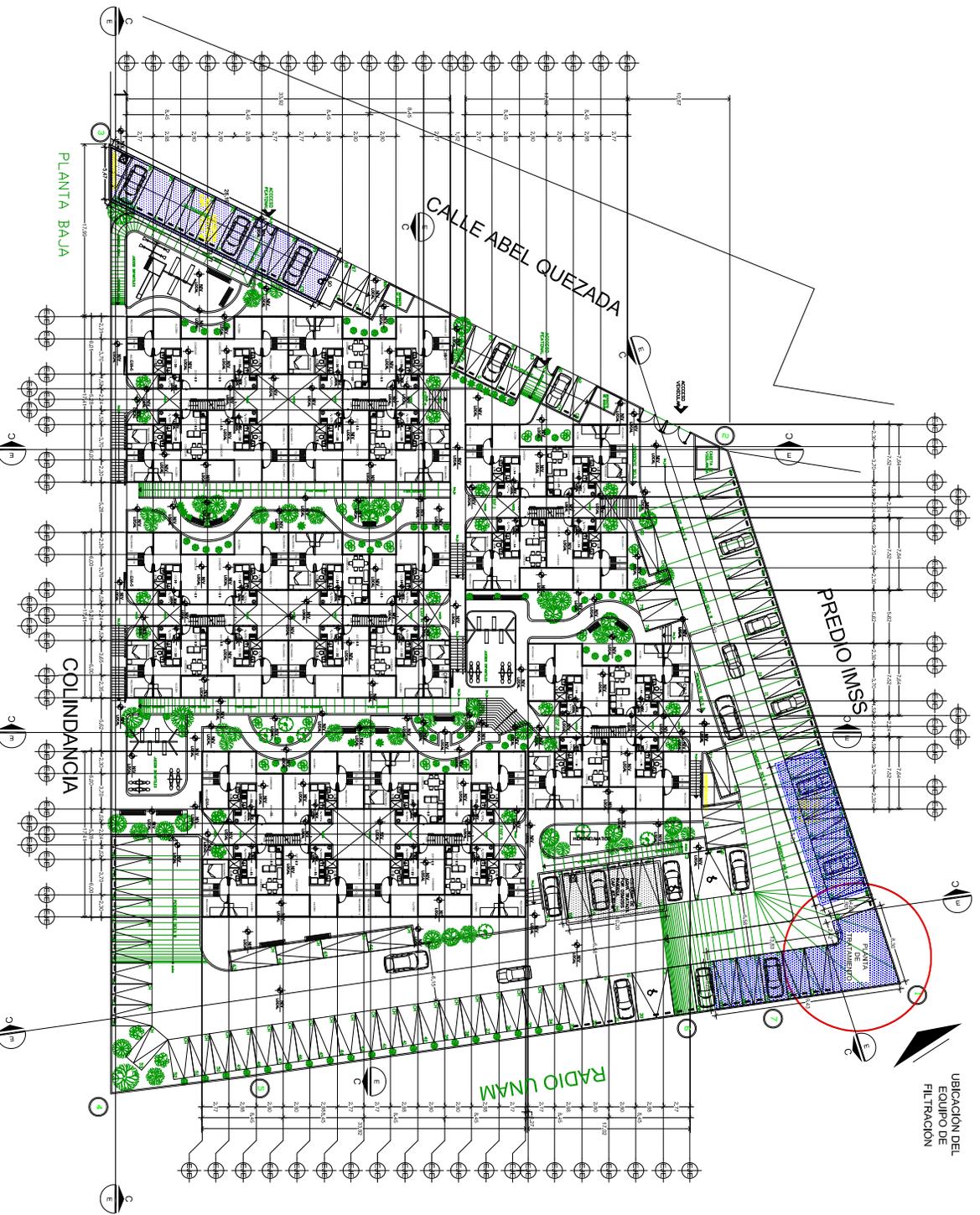


**Fig. 25 Conjunto Habitacional de 210 viviendas de interés social.**

Para este Conjunto Habitacional se ha considerado tratar la totalidad del flujo generado por el desarrollo de 210 viviendas. Se estima que, entre un 40 % a un 50 % del agua tratada, será reutilizada en el desarrollo bien en sanitarios, lavado de autos, irrigación de jardines. Es importante señalar que en el diseño de la planta se contemplaron etapas de tratamiento físicas y biológicas, las cuales se describen a continuación:

#### **Pre-tratamiento**

El paso de basura y sólidos no-biodegradables como plásticos, grava y/o pelo al bioreactor pueden ocasionar que las membranas se tapen o dañen. Por lo tanto, para garantizar la efectividad del sistema de tratamiento por muchos años, se recomienda que se construya un tanque trampa con una capacidad tal que el tiempo de retención sea mínimo de 12 horas.



UBICACION DEL EQUIPO DE FILTRACION

ORIENTACION



LOCALIZACION



NOTAS GENERALES Y SIMBOLOGIA:  
 - Se muestra el terreno a construir.  
 - Se muestra el terreno a construir.  
 - Se muestra el terreno a construir.

**NOTA IMPORTANTE:**  
 Este documento es el resultado de un estudio preliminar de ingeniería. No garantiza ni asegura el cumplimiento de los requisitos de construcción. El cliente es responsable de verificar y validar los datos y condiciones de terreno, servicios y demás aspectos antes de iniciar la construcción.

DESCRIPCION	VALOR
SUPERFICIE DEL TERRENO	1.687,25 M <sup>2</sup>
SUPERFICIE DE CONCRETO (C-1)	1.887,25 M <sup>2</sup>
SUPERFICIE TOTAL CONCRETO	3.029,21 M <sup>2</sup>
POTENCIAL DE AGUA LIBRE	68,05 M
ANCHO DE EQUIPARTAMENTO	18,00 M
SUPERFICIE DE MONTAJE EN CERRO	53,80 M <sup>2</sup>
INFORMACION VENTA	5
NUMERO DE VENTAS	100
TOTAL DE COBRO ESTACION	90

ESCALA GENERAL:
1:500

PROYECTISTA	FECHA
AGP	2023

**PROYECTO PIANONNA**

AGP

AGP

PROYECTISTA: AGP

FECHA: 2023

PROYECTO: PIANONNA

CLIENTE: ESCUELA GENERAL

UBICACION: CALLE ABEL QUEZADA, PREDIO INSS, COLINDANCIA

PROYECTO: PIANONNA

PLANTA: PLANTA BAJA

PROYECTO: PIANONNA

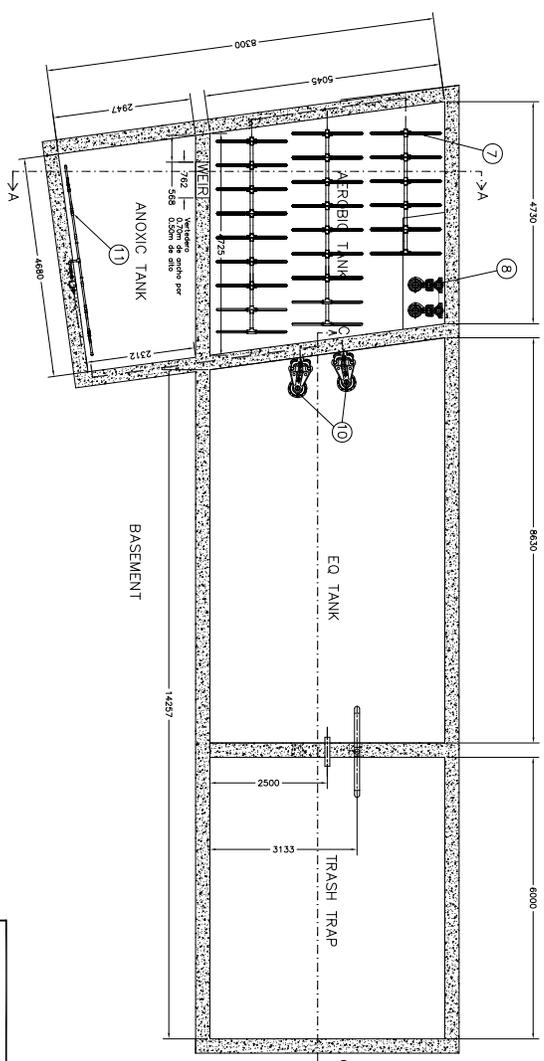
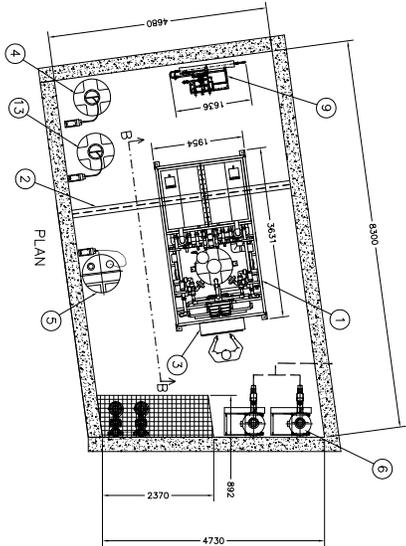
PLANTA: PLANTA BAJA

PROYECTO: PIANONNA

PLANTA: PLANTA BAJA

EQUIPMENT REFERENCE DRAWINGS

ITEM	DESCRIPTION	P&ID REF.	GA REF.
1	WDA 2-1-8	WDA 218 D-001-005	WDA218A00
2	HOIST & BEAM (BY OTHERS)	N/A	N/A
3	CONTROL PANEL	N/A	N/A
4	SULFURIC ACID	650129-D-005	N/A
5	NaOH FEED SYSTEM	650129-D-003	2003500
6	PROCESS BLOWER	650129-D-002	N/A
7	DIFFUSER SYSTEM	650129-D-003	650129-G-307
8	RECIRCULATION PUMPS	650129-D-003	N/A
9	RO UNIT	650129-D-005	650129-G-300
10	GRINDER PUMPS	650129-D-001	2003100
11	ANOXIC MIXING	650129-D-003	650129-G-306
12	AR MIXER MANIFOLD	650129-D-003	2003320
13	SODIUM BISULFITE	WDA218-D-005	N/A



REV.	DATE	DESCRIPTION	APP'D	DATE	DESCRIPTION
4	06/01/20	UPDATED TRASH TRAP, EQ TANK AND DRAWING LIST	JP		
3	06/01/04	REVISED DRAWING LIST	JP		
2	05/12/12	REVISED AEROBIC TANK & ANOXIC TANK	JP		
1	05/12/08	REVISED LAYOUT AS PER CLIENT	JP		
0	05/12/07	ISSUED FOR APPROVAL	JP		

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:	APPROVAL:	DATE:
1. DIMENSIONS ARE IN INCHES	DESIGN: JP	05/12/07
2. FRACTIONS	DRAWN: JP	05/12/07
3. DECIMALS	CHECK: JS	06/01/19
4. ANGLES	SCALE:	
5. HOLE SIZES		
6. HOLE CONES		

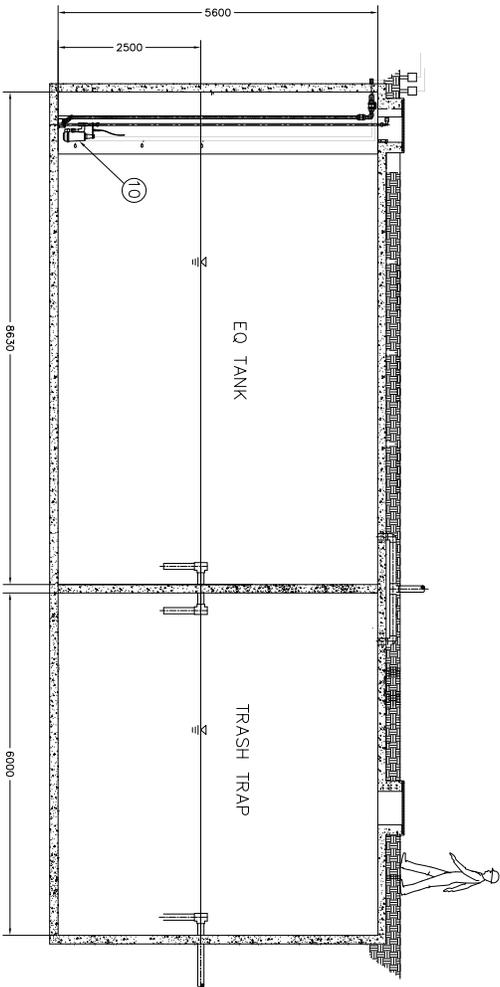
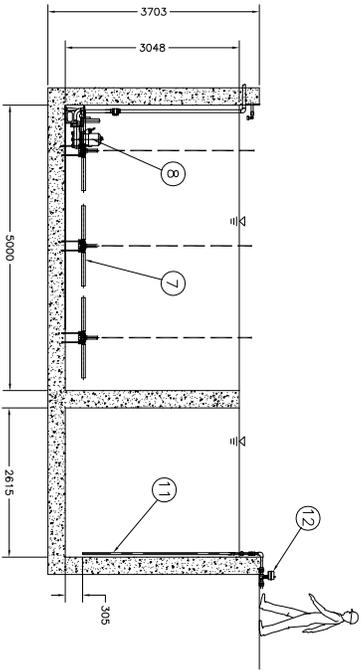
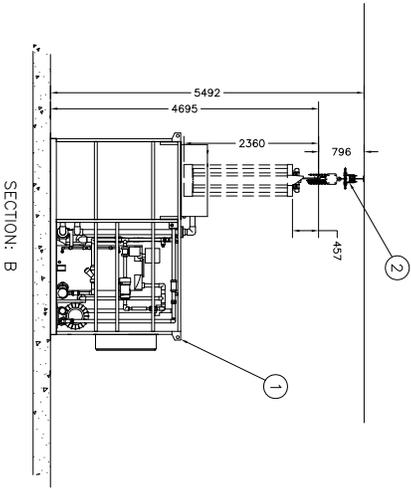
  

DRWG INTERVIEW	SCALE:	INS
SIZE:	D	DRAWING NO: 650129-G-001
SHEET:	1	REV: 4

<b>ZENON Environmental Inc.</b> 20 - CANALE PHANOUA, VN CUSTOMER:		TITLE: GENERAL ARRANGEMENT WASTEWATER TREATMENT PLANT
1000000000 20 - CANALE PHANOUA, VN		DATE: 05/12/07 DRAWN: JP CHECK: JS SCALE:

THE CONTRACTOR SHALL BE RESPONSIBLE FOR OBTAINING ALL NECESSARY PERMITS AND APPROVALS FROM THE LOCAL AUTHORITIES. THE CONTRACTOR SHALL BE RESPONSIBLE FOR OBTAINING ALL NECESSARY PERMITS AND APPROVALS FROM THE LOCAL AUTHORITIES. THE CONTRACTOR SHALL BE RESPONSIBLE FOR OBTAINING ALL NECESSARY PERMITS AND APPROVALS FROM THE LOCAL AUTHORITIES.



THE CONTRACTOR SHALL BE RESPONSIBLE FOR OBTAINING ALL NECESSARY PERMITS AND APPROVALS FROM THE LOCAL, STATE, AND FEDERAL AGENCIES. THE CONTRACTOR SHALL BE RESPONSIBLE FOR OBTAINING ALL NECESSARY PERMITS AND APPROVALS FROM THE LOCAL, STATE, AND FEDERAL AGENCIES. THE CONTRACTOR SHALL BE RESPONSIBLE FOR OBTAINING ALL NECESSARY PERMITS AND APPROVALS FROM THE LOCAL, STATE, AND FEDERAL AGENCIES.

REV.	DATE	DESCRIPTION	APP'D	DATE	DESCRIPTION	APP'D
2	06/01/20	ISSUED TRASH TRAP & AEROBIC TANK	JP			
1	05/12/12	ISSUED AEROBIC TANK, AEROBIC TANK, AND TRASH TRAP	JP			
0	05/10/25	ISSUED FOR APPROVAL	JP			

DESIGNER: JP	DATE: 05/12/08	CHECKED: JS	DATE: 06/01/19
SCALE: NTS	CAD FILE: 650129-001.dwg	TITLE: GENERAL ARRANGEMENT WASTEWATER TREATMENT PLANT	

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:	1. DIMENSIONS ARE IN INCHES
	2. FINISHES ARE AS SHOWN
	3. ANGLES ARE AS SHOWN
	4. HOLE SIZES ARE AS SHOWN
	5. HOLE FINISHES ARE AS SHOWN

ZENON Environmental Inc.	650129-001
GENERAL ARRANGEMENT	WASTEWATER TREATMENT PLANT
SHEET 2	REV. 2

### **Igualación de Flujos u Homogeneización.**

El sistema está diseñado para soportar hasta 2 veces el flujo promedio por un período limitado de tiempo. Para esta planta, se propone, incorporar cierta capacidad de igualación. Típicamente se recomienda una capacidad para igualación de flujos de 12 a 24 horas. En este tanque se instalan bombas trituradoras para garantizar que solamente sólidos finos lleguen al bioreactor de membranas.

### **Sistema de Aereación.**

El aire requerido para el proceso biológico es provisto por los sopladores destinados a este propósito, se muestran en la **Fig. 26**. Estos sopladores son instalados en una zona adyacente al biorreactor. Los sopladores requieren ser anclados a una superficie de concreto, en un cuarto de máquinas si se prefiere eliminar por completo el ruido generado.

Un sistema de aereación de burbuja fina será provisto para su instalación dentro de la zona aerobia del tanque de proceso. (**ver fig. 27**).



Fig. 26 **Sistema de sopladores**



Fig. 27 **Sistema de aereación**

## Filtración

Las membranas de fibra hueca, las cuales parecen mechones de fideos que son huecos por dentro, utilizan la exclusión física de agua y permeado. Los muros poliméricos de los mechones de membrana tienen billones de poros que actúan como colador para filtrar las partículas, turbidez y patógenos al mismo tiempo que permiten, el flujo de agua a través de la membrana. ( ver fig. 28).

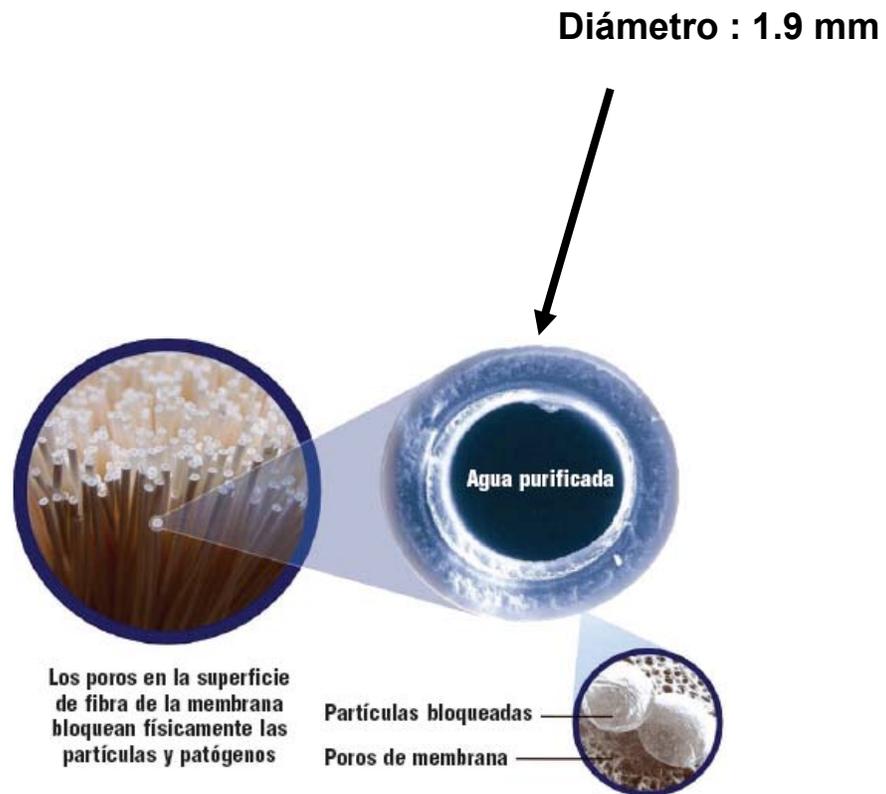


Fig. 28 **Membrana de polímero vinílico (poliacrilonitrilo)**

## Sistema de filtración

Es una membrana sumergida, operada por succión. El módulo se compone de un marco rectangular, libre de cubierta, en el cual están fijados los módulos de fibra hueca (**ver. Fig. 29**), sumergidos directamente en la mezcla de lodos activados y conectados a la succión de una bomba centrífuga, mediante un sistema operativo de membrana de afuera hacia adentro. Al aplicarse una ligera succión (3-8psi). (**Ver Fig. 30 y 31**).

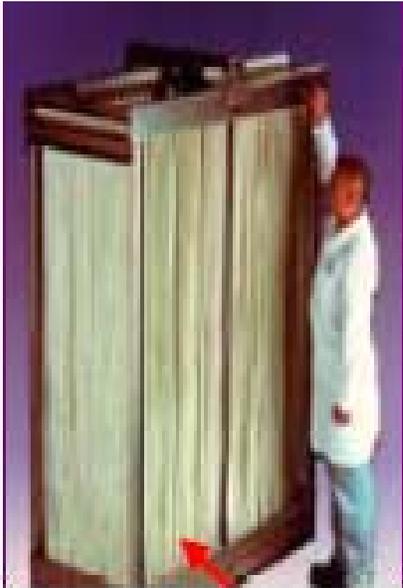


Fig. 29 **Módulos de Fibra Hueca.**

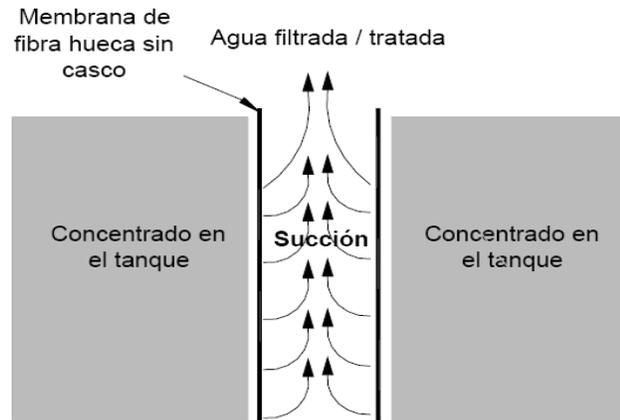


Fig. 30 **Concepto operativo de una membrana de afuera hacia adentro sumergida.**

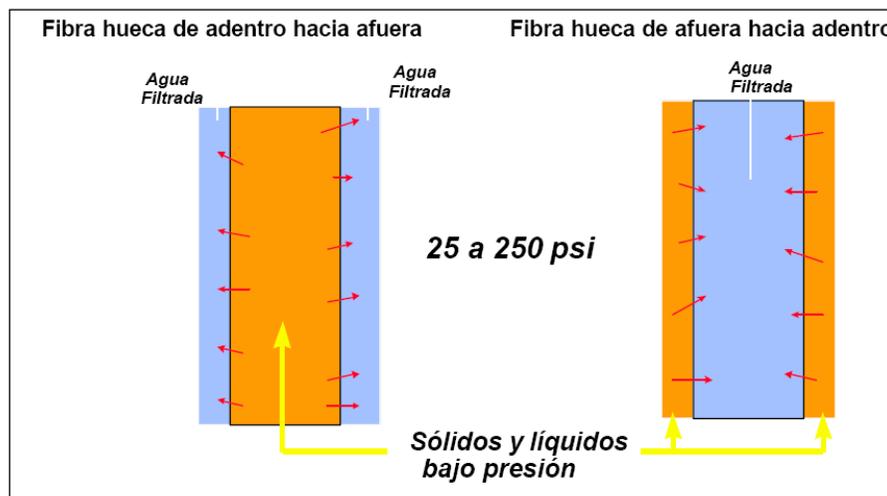


Fig. 31 **Sistemas de Filtración a Presión.**

## Esquema Modular MBR

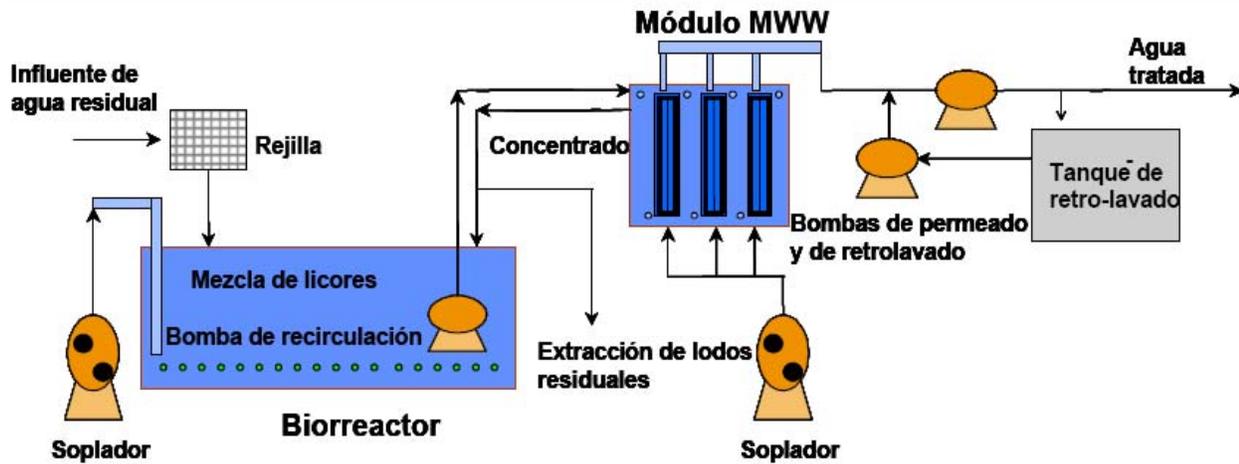


Fig. 32 Esquema Modular

## Limpieza de Membranas

La limpieza con aire, así como el retro-lavado, son los métodos usados día a día para mantener el flux\* de diseño en las membranas (**ver fig. 33**). Sin embargo, durante períodos más largos de tiempo, es posible que las membranas experimenten algún bloqueo causado por la acumulación de materia orgánica o bien por la cristalización de sales en los poros de las membranas.

La frecuencia de esta limpieza de “recuperación” está en función de las características del influente y de la operación de la planta. Típicamente, sin embargo, es común esta limpieza en intervalos que van de 3 a 6 meses. (Membrane systems for municipal drinking water treatment. [www.zenon.com](http://www.zenon.com) ).

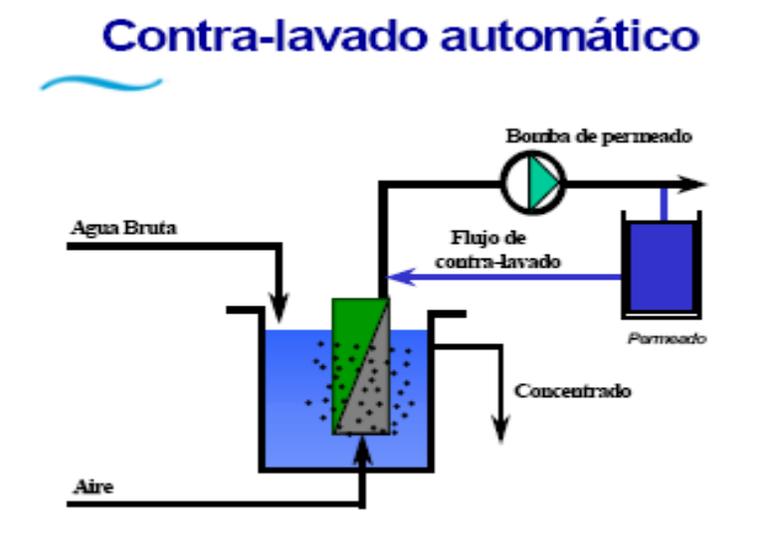


Fig. 33 **Lavado Automático**

Para este tipo de lavado, las membranas son sumergidas en una solución de hipoclorito de sodio a una concentración de entre 200 y 1000 mg/L por un período de 8 a 12 horas. En situaciones muy particulares puede requerirse un lavado con una solución ácida o alcalina (típicamente ácido cítrico o sosa, dependiendo del caso) levemente concentrada. El hipoclorito de sodio sirve para oxidar las partículas que tapan el poro de la membrana, mientras que la solución ácida sirve para remover depósitos inorgánicos. (Membrane systems for municipal drinking water treatment. [www.zenon.com](http://www.zenon.com) )

**Flux.-** Es el volumen de agua que puede pasar a través de una superficie dada de membrana por unidad de tiempo.

## **Recirculación de los Lodos Activados**

Las bombas de recirculación son usadas para transferir los lodos activados de la sección del tanque que contienen a las membranas a la zona anóxica del biorreactor.

El propósito es remover los sólidos acumulados en la zona de membranas y desarrollar una mezcla más uniforme en el biorreactor. Cuando se requiere que haya desnitrificación, se incrementa la velocidad de la recirculación para reducir la concentración total de Nitrógeno.

## **Sistema de Remoción de Lodos**

La remoción de lodos excedentes se lleva a cabo mediante la extracción periódica de éstos de la línea de recirculación, mediante un control manual. La frecuencia de la remoción de lodos excedentes es una función del influente, del diseño del bioreactor y de la preferencia del operario. Los lodos excedentes pueden ser removidos de forma semanal, mensual o bien períodos más largos.

## **8- Normatividad para aguas residuales tratadas para reúso.**

La **NOM-003-SEMARNAT-1997** establece los límites máximos permisibles de contaminantes para aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, la cual considera lo siguiente:

### **Reúso en servicios al público con contacto directo.**

Es el que se destina a actividades donde el público usuario esté expuesto directamente o en contacto físico. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana, se consideran los siguientes reúsos:

- Llenado de lagos.
- Canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo canotaje y esquí.
- Fuentes de ornato.
- Lavado de vehículos.
- Riego de parques y jardines.

### **Reúso en servicios al público con contacto indirecto u ocasional.**

Es el que se destina a actividades donde el público en general esté expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia. En lo que corresponde a esta norma se consideran los siguientes reúsos:

- Riego de jardines y camellones en autopistas.
- Camellones en avenidas.
- Fuentes de ornato.
- Campos de golf.
- Abastecimientos de hidrantes de sistemas contra incendio.
- Lagos artificiales no recreativos.
- Barreras hidráulicas de seguridad y panteones.

## 8.1 Límites máximos permisibles de contaminantes.

La tabla que se muestra a continuación, indica los límites permisibles de contaminantes que señala la **NOM-003-SEMARNAT-1997**, para aguas de reúso. (ver tabla. 5).

TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes Fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y Aceites mg/l	DBO <sub>5</sub> mg/l	SST mg/l
<b>SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO</b>	240	≤ 1	15	20	20
<b>SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL</b>	1,000	≤ 5	15	30	30

En la siguiente tabla se indican los parámetros principales que forman parte de la caracterización de un agua residual doméstica, que sirvieron para el diseño del sistema de membrana sumergida, en la cual se indican las cantidades de contaminantes del influente y la calidad que se espera del efluente tratado. ( ver tabla. 6).

Tabla. 6 **Caracterización de agua residual doméstica**

Parámetro	Influente	Efluente tratado	Unidades
Flujo Máximo Promedio	157	127	m3/día
Flujo Máximo Diario	314	284	m3/día
Temperatura de Agua	22	22	oC
DBO <sub>5</sub>	400	< 5	mg/l
Sólidos Suspendedos Totales	400	< 5	mg/l
Alcalinidad	250	n.a.	mg/l
Turbiedad	50	n.a.	UTN
TKN 50 n.a. mg/l	50	n.a.	mg/l
Huevos de Helminto	1000	< 1	h/lt
E coli (UFC)	900,000	240	NMP/100 ml

n.a = no aplica

## 8.2 Metodología

Se realizara la toma de 2 muestras simples del efluente tratado en un periodo de un mes para después enviarlas a un laboratorio certificado donde se determinaran 5 parámetros como son : Grasas y Aceites, Sólidos Suspendidos Totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Huevos de Helminto y Coliformes Fecales.

### ● 1ra. Etapa

#### Toma de muestras.

Para poder obtener los resultados que marca la norma NOM-ECOL-003-1997 para agua tratada de reúso, se deberán tomar por lo menos 2 muestras simples en un mes y tomar como resultado el promedio de estas.

### ● 2da. Etapa

Pruebas de laboratorio.

Determinación en laboratorio de los índices por los métodos que marca la NOM-003-SEMARNAT-1997, los cuales se detallan a continuación:

Tabla. 7 **Índices de pruebas de laboratorio.**

<b>Índice</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método</b>
DBO <sub>5</sub>	mg/ lt	Método de incubación por diluciones
Coliformes fecales	NMP/100 ml	Método de tubos múltiples de fermentación
Grasas y aceites	mg/ lt	Método de extracción solhlet
Sólidos suspendidos totales	mg/ lt	Método gravimétrico
Huevos de helminto	H/lt	Método de flotación o difásico

### ● 3ra. Etapa

#### Obtención de resultados.

Para la determinación de los resultados como lo marca la norma, es necesario que para el índice de los coliformes fecales se tome como resultado la media geométrica.

En el caso de los huevos de helminto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales y Grasas y Aceites se tomara como resultado la media aritmética.

## 9.- Resultados

En las siguientes tablas se muestran los resultados de los análisis físico- químicos que se obtuvieron de muestreo del agua residual, los cuales fueron elaborados por un laboratorio acreditado (Aimex Ingeniería y Construcción, S.A. de C.V.). **ver anexo.**

En la **tabla. 8** se indica los resultados de dos muestreos que se realizaron en un mes para obtener la demanda Bioquímica de Oxígeno, como lo marca la norma.

Tabla. 8 **Obtención de resultados DBO5**

Muestra simple 1	14.27 *	mg/lit
Muestra simple 2	10.41*	mg/lit
Suma	24.68	mg/lit
<b>Media aritmética</b>	<b>12.34</b>	<b>mg/lit</b>

(Método de incubación por diluciones)

\* **ver anexo**

En la **tabla. 9** se indica los resultados de dos muestreos que se realizaron en un mes para obtener la cantidad de Sólidos Suspendidos Totales, como lo marca la norma.

Tabla. 9 **Obtención de resultados de Sólidos Suspendidos Totales (SST)**

Muestra simple 1	5.60 *	mg/lit
Muestra simple 2	6.40 *	mg/lit
Suma	12.00	mg/lit
<b>Media aritmética</b>	<b>6.00</b>	<b>mg/lit</b>

(Método Gravimétrico)

\* **ver anexo**

En la **tabla. 10**, se indica los resultados de dos muestreos que se realizaron en un mes para obtener la cantidad de Grasas y Aceites, como lo marca la norma.

Tabla. 10 **Obtención de resultados de grasas v aceites**

Muestra simple 1	11.03 *	mg/lt
Muestra simple 2	12.41 *	mg/lt
Suma	23.44	mg/lt
<b>Media aritmética</b>	<b>11.72</b>	<b>mg/lt</b>

(Método de extracción solhlet)

\* ver anexo

En la **tabla. 11**, se indica los resultados de dos muestreos que se realizaron en un mes para obtener la cantidad de Huevos de Helminto, como lo marca la norma.

Tabla. 11 **Obtención de Huevos de Helminto**

Muestra simple 1	< 1 *	NH/lt
Muestra simple 2	< 1 *	NH/lt
Suma	< 2	NH/lt
<b>Media aritmética</b>	<b>&lt; 1</b>	<b>NH/lt</b>

(Método de flotación o difásico)

\* ver anexo

En la **tabla. 12**, se indica los resultados de dos muestreos que se realizaron en un mes para obtener la cantidad de Coliformes Fecales, como lo marca la norma.

Tabla. 12 **Obtención de resultados de coliformes fecales**

Muestra simple 1	150 *	NMP/100 ml
Muestra simple 2	210 *	NMP/100 ml
<b>Media geométrica</b>	<b>177</b>	<b>NMP /100 ml</b>

(Método de tubos múltiples de fermentación)

\* ver anexo

Media Geométrica

**Fórmula:**

$$\bar{x} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i}$$

$$\bar{x} = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot x_n}$$

$$\bar{x} = \sqrt[2]{(150)(210)} = \sqrt{31500} = 177.48$$

**Donde :**

n = número de muestras.

$x_1, x_2, \dots, x_n$  = valores de cada muestra.

En la siguiente tabla se determinan las eficiencias de remoción, considerando las características del influente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales. ( ver **tabla. 13**).

Tabla. 13 **Tabla de eficiencias de remoción de los índices marcados por la NOM – 003-SEMARNAT-1997 para agua de reúso para servicios al público con contacto directo.**

Indice	Caractrísticas de influente	Resultados efluente	Eficiencia	Unidad
DBO <sub>5</sub>	400	12.34	97.00 %	mg/ lt
Coliformes fecales	900,000	177.0	99.98 %	NMP/100 ml
Grasas y aceites	n.a.	11.72	n.a.	mg/ lt
Sólidos suspendidos totales	400	6.00	98.5 %	mg/ lt
Huevos de helminto	1000	< 1	99.9 %	H/lt

En la **tabla. 14** se comparan los resultados de las pruebas de laboratorio, contra los límites máximos permisibles que señala la normatividad vigente para aguas tratadas para reúso.

Tabla. 14 **Tabla comparativa de resultados de las muestras respecto a los límites máximos permisibles que marca la NOM –003-SEMARNAT-1997 para agua de reúso para servicios al público con contacto directo.**

Indice	resultados	LMP-PM	Porcentaje por debajo de la norma	Unidad
DBO <sub>5</sub>	12.34	20	38 %	mg/ lt
Coliformes fecales	177.0	240	26 %	NMP/100 ml
Grasas y aceites	11.72	15	22 %	mg/ lt
Sólidos suspendidos totales	6.00	20	70 %	mg/ lt
Huevos de helminto	< 1	< 1	0 %	H/lt

**LMP – PM = Límites máximos permisibles - Promedio Mensual**

## 10.- Conclusiones y Recomendaciones

Haciendo referencia al punto 1.5 donde se plantea la Hipótesis y basado en los resultados de laboratorio, se confirma que la membrana de poliacrionitrilo en un sistema de ultra filtración cumple con los límites máximos permisibles de contaminantes que señala la normatividad vigente para agua de reuso en servicios al público. (NOM-003-SEMARNAT- 1997).

Por lo anterior y apoyándose en el presente trabajo de investigación se señalan los elementos que sirvieron para llevar a cabo la comprobación del planteamiento de la citada hipótesis:

Para la obtención de los parámetros como lo marca la norma NOM-003-SEMARNAT-1997, fue necesario que para el índice de los coliformes fecales se tome como resultado la media geométrica.

En el caso de los huevos de Helminto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales, Grasas y Aceites se tomo la media aritmética. Obteniendo lo siguiente:

- En lo que se refiere a los sólidos suspendidos totales , se tomo como base la caracterización del influente, donde se tenían 400 mg/lit , después del proceso de tratamiento y según los resultados de las pruebas de laboratorio, se obtuvieron 6 mg/lit, concluyéndose que existe una eficiencia del 98.5 %, además de estar en un 70 % (**ver tabla .11**) por debajo de lo que señala la norma.
- En el índice de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, según la caracterización del influente de tenían 400 mg/lit, donde los resultados de laboratorio arrojaron 12.34 mg/lit, de los cuales se determino una eficiencia del 97%. Cabe señalar, que la normatividad requiere 20 mg/lit, por lo que se puede concluir que se está por abajo en un 38 % (**ver tabla. 11**).
- Para grasas y aceites, no se determino la eficiencia, sin embargo los resultados arrojaron 11.72 mg/lit, siendo que la norma pide como mínimo 15 mg/lit, por lo que en dicho índice se puede observar que está muy cercano a límite permisible, teniendo prácticamente un 22 % por debajo de la norma NOM-003-SEMARNAT- 1997.
- En el índice señalado como Huevos de Helminto, se deduce que en base a los resultados se tiene una alta eficiencia que corresponde a un 99.9 %, toda vez que los resultados nos indican < 1 H/lit. Lo que se podría interpretar que el tamaño de poro de la membrana es una barrera eficiente de filtración para que en el permeado no estén presentes este tipo de parásitos ya que su tamaño es mayor al tamaño nominal de la membrana.
- Por último, con los resultados de laboratorio de los coliformes fecales, se determino la eficiencia, que corresponde a un 99.98 % (**ver tabla. 11**), por lo que se concluye que este tipo de membrana tiene una alta remoción para los microorganismos derivados de la contaminación fecal, toda vez que la caracterización del influente indica 900,000 NMP/100 ml y tomando la media geométrica de los resultados del muestreo del efluente que solicita la norma, resultó 177 NMP/100 ml. Es importante señalar, que los resultados están dentro de la norma, toda vez que se permiten 240 NMP/100 ml.

Por lo antes expuesto y derivado de los resultados se plantea que para este tipo de plantas de tratamiento que utilizan el sistema de ultrafiltración como tratamiento terciario, presentan una serie de ventajas y desventajas, para lo cual se hacen las siguientes recomendaciones:

1.- Es recomendable utilizar este sistema de desinfección, toda vez que no requiere el uso de compuestos químicos en la operación y no se pone en riesgo a los habitantes que en este caso se refiere a conjuntos habitacionales, al manejar cloro que es el método más usual para desinfección en México.

2.- Reduce la turbiedad, los sólidos suspendidos y parte del color del agua al eliminar las sustancias orgánicas, así como reduce los costos de operación y disposición, permite mediciones más controladas y confiables, usa menos espacio y, maneja flujos y calidades constantes o variables.

3.- Las membranas para tratamiento de agua pueden ser fácilmente combinables con otros procesos, como por ejemplo; para realizar el tratamiento biológico se puede sustituir por un sistema anaerobio para reducir la generación de lodos.

4.- Es conveniente el uso de estas membranas en el tratamiento de agua residual , toda vez que el requerimiento de cloro es menor para la desinfección, asimismo si se tienen problemas de espacio, es una buena alternativa, debido a que estas plantas son de dimensiones pequeñas.

5.- Los sistemas con membrana, especialmente los de bajo caudal, son compactos, fáciles de operar y pueden en el futuro convertirse en una tecnología interesante para pequeñas comunidades en ubicaciones remotas.

6.- Entre las desventajas, aún existen problemas de contaminación de los materiales de soporte en la ultrafiltración, en los cuales se producen incrustaciones y por tanto disminuyen la eficiencia del proceso.

7.- El proceso es simple y puede operar automáticamente, pero en caso de problemas es necesario recurrir a personal altamente capacitado.

8.- Los costos son mucho mayores que los de los métodos de desinfección más populares.

## 11.- BIBLIOGRAFÍA

1. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales Universidad de Alcalá, Madrid España. 2006
2. American Water Works Association Research Foundation; Lyonnaise des Eaux; Water Research.2003
3. Interamericana de España (1998). Fane, A.G. An overview of the use of microfiltration for drinking water and waste water treatment.
4. Zenon Municipal Systems. Membrane systems for municipal drinking water treatment.www.zenon.com. September de 1993.
5. Ignacio Javier Palma Carazo. Las Aguas Residuales en la Arquitectura Sostenible. Medidas Preventivas y Técnicas de Reciclaje. Eunsa. Ediciones Universidad de Navarra, S.A. Pamplona. 2003.
6. Ken Keang. El rascacielos ecológico. Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona. 2001.
7. American Water Works Association Research Foundation, Lyonnaise des Eaux, Water Research Commision of South Africa. Tratamiento del agua por procesos de membrana. Principios, procesos y aplicaciones. McGraw - Hill Inc. Madrid. 1999.
8. Lenntech Agua residual & purificación del aire Holding B.V. info@lenntech .com. 2007.
9. www.mmsiberica.com/tecnologia.htm
10. J.M. Benito A. Conesa, M.A. Rodríguez, Instituto de Cerámica y vidrio (CSIC) 28049 Cantoblanco, Madrid. 2004
11. Clark, S.W. and Parrotta, M.J., "Membrane Technologies and Drinking WaterRegulations". Proceedings of the AWWA Seminar on Membrane Technologies in the Water Industry, march de 1991.
12. Fane, A.G., An overview of the use of microfiltration for drinking water and waste water treatment. Documento presentado en el Microfiltration Symposium for WaterTreatment, Irvine, CA., 1994.
13. Jacangelo, J.G. et al. Mechanism of Cryptosporidium, Giardia, and MS2 Virus Removal by MF and UF. Journal AWWA, september de 1995.

14. Mourato, D et al, Applications of Immersed Membranes in the Drinking Water Field. Documento presentado en la 1997 AWWA Membrane Technology Conference, Louisiana, feriar de 1997.
15. VandeVenter et al, Application of Immersed Membrane Microfiltration for NOM Removal. Documento presentado en la 1998 AWWA Annual Conferenc, Dallas, Texas, june de 1998.
16. LeChevalier MW, Norton WD. Giardia and Cryptosporidium in raw and finished drinking water. JAWWA 1995.
17. Rose JB. Pathogenic organisms in drinking water: Occurrence and control of Crpystosporidium in water.1989.
18. Lora-Suárez F, Marín-Vásquez C, Loango N, Gallego M, Torres E, González MM, et al. Giardiasis in children living in post-earthquake camps from Armenia (Colombia). BMC Public Health 2002.
19. Schaefer FW. Detection of protozoan parasites in sources and finished drinking waters. Sec. III, Cap 16. In: Hurst CJ, Knudsen GR, McKerney MJ, Stetzenbach LD, Walter MV (eds.). 1997.
20. Smith HV, Robertson LJ, Ongerth JE. Cryptosporidiosis and Giardiasis: the impact of waterborne transmission. J Water SRT-Aqua 1995.
21. Souza JCP, Lopes CWG. Criptosporidiose em bezerros de rebanhos da bacia leiteira sul fluminense. Estado do Rio de Janeiro. Rev Brasil Parasitol Vet 1995

## **12.- Glosario**

### **Absoluto**

El grado del micrón de un filtro. Indica que cualquier partícula más grande que un tamaño específico será atrapada dentro del filtro.

### **Acidez**

La capacidad cuantitativa del agua de neutralizar una base, expresada en equivalente de carbonato de calcio en PPM o del mg/l. El número de los átomos de hidrógeno que están presente determina esto. Es medido generalmente por medio de una valoración con una solución de hidróxido sódico estándar.

### **Adsorción**

Separación de líquidos, de gases, de coloides o de materia suspendida en un medio por adherencia a la superficie o a los poros de un sólido.

### **Aerobio**

Un proceso que ocurre en presencia del oxígeno, tal como la digestión de la materia orgánica por las bacterias en una charca de oxidación.

### **Agentes contaminantes biodegradables**

Agentes contaminantes que son capaces de ser descompuestos bajo condiciones naturales.

### **Agentes quelatos**

Compuestos orgánicos que tienen la habilidad de atrapar iones que están disueltos en el agua convirtiéndolos en sustancias solubles.

### **Agua ácida**

Agua que contiene una cantidad de sustancias ácidas que hacen al pH estar por debajo de 7,0.

### **Agua blanda**

Cualquier agua que no contiene grandes concentraciones de minerales disueltos como calcio y magnesio.

### **Agua contaminada**

La presencia en el agua de suficiente material perjudicial o desagradable para causar un daño en la calidad del agua.

### **Agua dura**

Agua que contiene un gran número de iones positivos. La dureza está determinada por el número de átomos de calcio y magnesio presentes. El jabón generalmente se disuelve malamente en las aguas duras.

### **Aguas grises**

Aguas domésticas residuales compuestas por agua de lavar procedente de la cocina, cuarto de baño, aguas de los fregaderos, y lavaderos.

### **Aguas hipoanóxicas**

Aguas con una concentración de oxígeno disuelto menor que 2mg/L, el nivel generalmente aceptado como mínimo requerido para la vida y la reproducción de organismos acuáticos.

### **Aguas negras**

Aguas que contienen los residuos de seres humanos, de animales o de alimentos.

### **Aguas receptoras**

Un río, un lago, un océano, una corriente de agua u otro curso de agua, dentro del cual se descargan aguas residuales o efluentes tratados.

### **Aguas residuales**

Fluidos residuales en un sistema de alcantarillado. El gasto o agua usada por una casa, una comunidad, una granja, o industria que contiene materia orgánica disuelta o suspendida.

### **Aguas residuales municipales**

Residuos líquidos, originados por una comunidad. Posiblemente han sido formados por aguas residuales domésticas o descargas industriales.

### **Aireación**

Técnica que se utiliza en el tratamiento de aguas que exige una fuente de oxígeno, conocida comúnmente como purificación biológica aeróbica del agua. El agua es traída para ponerla en contacto con las gotitas de aire o rociando el aire se trae en contacto con agua por medio de instalaciones de la aireación. El aire es presionado a través de la superficie del agua, este burbujea y el agua se provee de oxígeno.

### **Aireación mecánica**

Uso de la energía mecánica para inyectar aire al agua para causar una corriente residual que absorba oxígeno.

## **Alcalinidad**

La alcalinidad significa la capacidad tapón del agua; la capacidad del agua de neutralizar. Evitar que los niveles de pH del agua lleguen a ser demasiado básico o ácido. Es También añadir carbón al agua. La alcalinidad estabiliza el agua en los niveles del pH alrededor de 7. Sin embargo, cuando la acidez es alta en el agua la alcalinidad disminuye, puede causar condiciones dañinas para la vida acuática. En química del agua la alcalinidad se expresa en PPM o el mg/l de carbonato equivalente del calcio. La alcalinidad total del agua es la suma de las tres clases de alcalinidad; alcalinidad del carbonato, del bicarbonato y del hidróxido.

## **Anaerobio**

Un proceso que ocurre en ausencia de oxígeno, tal como la digestión de la materia orgánica por las bacterias en un UASB-reactor.

## **Anión**

Un ion cargado negativamente que resulta de la disociación de sales, de ácidos o de álcalis en la solución

## **Bacterias**

Pequeños microorganismos unicelulares, que se reproducen por la fisión de esporas.

## **Bacteria coliforme**

Bacteria que sirve como indicador de contaminantes y patógenos cuando son encontradas en las aguas. Estas son usualmente encontradas en el tracto intestinal de los seres humanos y otros animales de sangre caliente.

## **Bacteria facultativa**

Bacteria que puede vivir bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas.

## **Base**

Una sustancia alcalina que tiene un pH que exceda de 7.5.

## **Bicarbonatos**

Sal que contiene el anión  $\text{HCO}_3^-$ . Cuando se agrega un ácido, el ion se rompe transformándose en  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{CO}_2$ , y actúa como agente tampón.

## **Biocida**

Un producto químico que es tóxico para los microorganismos. Los biocidas se utilizan a menudo para eliminar bacterias y otros organismos unicelulares del agua.

## **Biota**

Todos los organismos vivos en una región o un ecosistema.

## **Capacidad de neutralización de un ácido**

Medida de la capacidad tapón del agua; la capacidad del agua a resistir cambios en el pH.

## **Cloración**

Proceso de purificación del agua en el cual el cloro es añadido al agua para desinfectarla, para el control de organismos presente. También usado en procesos de oxidación de productos impuros en el agua.

## **Cloro disponible**

Es una medida de la cantidad de cloro disponible en carbonatos de cloro, compuestos del hipoclorito, y otros materiales.

## **Coágulos**

Residuo sólido precipitado en el filtro después de que la filtración tenga lugar.

## **Coagulación**

Desestabilización de partículas coloidales por la adición de un reactivo químico, llamado coagulante. Esto ocurre a través de la neutralización de las cargas.

## **Coagulantes**

Partículas líquidas en suspensión que se unen para crear partículas con un volumen mayor.

## **Coloides**

Material de muy pequeño tamaño, en el rango de  $10^{-5}$  a  $10^{-7}$  de diámetro.

## **Compuestos**

Dos o más elementos diferentes sostenidos juntos en proporciones fijas por fuerzas de atracción llamado enlace químico.

## **Concentrado**

La totalidad de diferentes sustancias que son dejadas detrás de un filtro después de un proceso de filtración.

## **Concentración**

La cantidad de material disuelto en una unidad de solución, expresado en mg/L.

## **Contaminante**

Un compuesto que a concentración suficientemente alta causa daños en la vida de los organismos.

### ***Contaminantes biológicos***

Organismos vivos tales como virus, bacterias, hongos, y antígenos de mamíferos y de pájaros que pueden causar efectos dañinos sobre la salud de los seres humanos.

### **Contaminantes tóxicos del agua**

Compuestos que no son encontrados de forma natural en el agua y vienen dados en concentraciones que causan la muerte, enfermedad, o defectos de nacimiento en organismos que los ingieren o absorben.

### **COP's**

Contaminantes Orgánicos Persistentes, compuestos complejos que son muy persistentes y difícilmente biodegradables.

### **COV**

Compuesto Orgánico Volátil. Compuestos orgánicos sintéticos los cuales tienen fácil evaporación y a menudo son carcinogénicos.

### **Crecimiento microbiano**

La multiplicación de microorganismos como las bacterias, algas, diatomeas, plancton, y hongos.

### **Cryptosporidium**

A microorganismo del agua que causa enfermedades gastrointestinales en humanos. Es comúnmente encontrado en superficie de aguas sin tratar y puede ser eliminado por filtración. Es resistente a los desinfectantes como el cloro.

### **DBO (Demanda Biológica de Oxígeno)**

La cantidad de oxígeno (medido en el mg/l) que es requerido para la descomposición de la materia orgánica por los organismos unicelulares, bajo condiciones de prueba. Se utiliza para medir la cantidad de contaminación orgánica en aguas residuales.

## **DBO<sub>5</sub>**

La cantidad de oxígeno disuelto consumido en cinco días por las bacterias que realizan la degradación biológica de la materia orgánica.

## **DQO (Demanda Química de Oxígeno)**

Cantidad de oxígeno (medido en mg/L) que es consumido en la oxidación de materia orgánica y materia inorgánica oxidable, bajo condiciones de prueba. Es usado para medir la cantidad total de contaminantes orgánicos presentes en aguas residuales. En contraposición al BOD, con el DQO prácticamente todos los compuestos son oxidados.

## **Descarga municipal**

Descarga de efluentes procedentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, el cual recibe agua residuales de las casas, de establecimientos comerciales, e industrias en cuencas de drenaje costeras.

## ***Descomposición***

La ruptura de la materia orgánica por bacteria y fungi, para cambiar la apariencia de la estructura química y física de la materia orgánica.

## **Desinfección**

La descontaminación de fluidos y superficies. Para desinfectar un fluido o una superficie una variedad de técnicas están disponibles, como desinfección por ozono. A menudo desinfección significa eliminación de la presencia de microorganismo con un biocida.

## **Desinfectantes**

Fluidos o gases para desinfectar filtros, tuberías, sistemas, etc.

## **Desnitrificación**

Eliminación de productos nitritos y nitratos del agua para producir una calidad que responda a los estándares comunes.

## **Detergente**

Agente de limpieza soluble en agua, tal como jabón.

## **Difusión**

El movimiento de moléculas gaseosas o aerosoles dentro de líquidos, causados por un gradiente de concentración.

## **Digestor**

Tanque cerrado para el tratamiento de aguas residuales, en el cual las bacterias actúan induciendo la ruptura de la materia orgánica.

## **Efluente**

La salida o flujos salientes de cualquier sistema que despacha flujos de agua, a un tanque de oxidación, a un tanque para un proceso de depuración biológica del agua, etc. Este es el agua producto dada por el sistema.

## **Electrodiálisis**

Un proceso que usa corrientes eléctricas, aplicado a membranas permeables, para eliminar minerales del agua.

## **Electrolisis**

Procesos donde energía eléctrica puede cambiar a energía química. El proceso ocurre en un electrolito, en una disolución acuosa o fusión de una sal la cual da a los iones la posibilidad de transferirse electrones entre ellos. La electrolisis es la conexión entre dos electrodos, los cuales son también conectados a una corriente directa. Si se aplica una corriente eléctrica, los iones positivos migran hacia el cátodo mientras que los iones negativos migrarán hacia el ánodo. En los electrodos, los cationes serán reducidos y los aniones serán oxidados.

## **Escherichia coli (E. coli)**

Bacteria coliforme que está a menudo asociada con el hombre y desechos a animales y es encontrada en el intestino. Es usada por departamentos de salud y laboratorios privados para medir la calidad de las aguas.

## **Filtración**

Separación de sólidos y líquidos usando una sustancia porosa que solo permite pasar al líquido a través de él.

### **Filtración de arena**

La filtración de arena es frecuentemente usada y es un método muy robusto para eliminar los sólidos suspendidos en el agua. El medio de filtración consiste en múltiples capas para arenas con variedad en el tamaño y gravedad específica. Filtros de arena pueden ser suministrados para diferentes tamaños y materiales ambas manos operan de totalmente de forma automática.

### **Filtración por flujo cruzado**

Un proceso que usa flujo cruzado opuesto a la superficie de la membrana para minimizar el crecimiento de partículas.

## **Filtración profunda**

Proceso de tratamiento en el cual, todo el fondo del filtro es usado para atrapar partículas insolubles y suspendidas en el que se evita que el agua fluya a través de él.

## **Filtrado**

Un líquido que ha sido pasado a través de un medio de filtro.

## **Filtro de cartucho**

Mecanismo de filtro desechable que tiene un rango de filtración de 0.1 micras hasta 100 micras.

## **Filtro de vela**

Filtro con una apertura relativamente gruesa, diseñado para retener y proteger al medio de filtración de la amplia gama de sustancias.

## **Filtro por goteo**

Unidad de tratamiento de aguas residuales que contiene un medio con bacterias. La corriente del agua residual es goteada a través del medio y las bacterias rompen los residuos orgánicos. Las bacterias son colectadas en el medio de filtración.

## **Floculación**

Acumulación de partículas desestabilizadas y micro partículas, y posteriormente la formación de copos de tamaño deseado. Uno debe añadir otra sustancia química llamada floculante en orden de facilitar la formación de copos llamados flóculos.

## **Flóculo**

Masa floculada que es formada por la acumulación de partículas suspendidas. Puede ocurrir de forma natural, pero es usualmente inducido e orden de ser capaz de eliminar ciertas partículas del agua residual.

## **Flotación**

Proceso de separación sólido-líquido o líquido-líquido, el cual es aplicado para partículas cuya densidad es más pequeña que la densidad del líquido que las contiene. Hay tres tipos: flotación natural, ayudada e inducida.

## **Flotación de aire disuelto (FAD)**

Un proceso donde se induce la flotación con muchas burbujas de aire o 'micro burbujas', de 40 a 70 micras.

### ***Flotación mecánica***

Un término utilizado en la industria mineral para describir el uso de dispersar aire para producir burbuja que miden entre 0.2 a 2 mm de diámetro.

### **Flujo**

El ratio del caudal de un recurso, expresado en volumen por unidad de tiempo.

### **Flux**

El ratio al cual la membrana de la ósmosis inversa permite al agua pasar a través de ella.

### **Giardia**

Un microorganismo que es comúnmente encontrado en superficies de aguas sin tratamiento y que puede ser eliminado por filtración. Es resistente a los desinfectantes como el cloro.

### **Hidrólisis**

La descomposición de compuestos orgánicos por la interacción del agua.

### **Hipoclorito**

Un anión que forma compuestos como hipoclorito de calcio y de sodio. Esos productos son a menudo utilizados para desinfectar y blanquear.

### **Hipoclorito cálcico**

Sustancia química que es ampliamente usada para la desinfección del agua, por ejemplo en piscinas y en plantas de potabilización de agua. Es especialmente usual porque tiene una estable poder de secado y puede ser fabricado en pastillas.

### **Indicador**

Cualquier entidad biológica o proceso, o comunidad cuyas características muestren la presencia de las condiciones ambientales específicas o contaminación.

### **Índice de coliformes**

Una posición de la pureza del agua basada en un conteo de bacterias coliformes.

### **Lodo activado**

Proceso biológico dependiente del oxígeno que sirve para convertir la materia orgánica soluble en biomasa sólida, que es eliminada por gravedad o filtración.

## **Lodos**

Residuo semisólido, que contiene microorganismos y sus productos, de cualquier sistema de tratamiento de aguas.

## **Lodos municipales**

Residuos semilíquidos que sobran del tratamiento de las aguas municipales y aguas residuales.

## **Lodos residuales**

Lodos producidos por un sistema de alcantarillado público.

## **Materia orgánica**

Sustancias de material de plantas y animales muertos, con estructura de carbono e hidrógeno.

## **Medio**

Materiales que forman una barrera para el paso de ciertos sólidos suspendidos o líquidos disueltos en los filtros suspendidos.

## **Medio de filtro**

Materiales permeables que separan sólido de líquido haciéndolo pasar por él.

## **Membrana**

Delgada barrera que permite a algunos sólidos o líquidos pasar a través de ella, y causa problemas a otros. Esta es de piel semipermeable lo cual el paso a través de ella está determinado por el tamaño o la especial naturaleza de las partículas. Las membranas son usadas generalmente para la separación de sustancias.

## **Metabolismo**

Conversión de la comida, por ejemplo materia orgánica soluble, para material celular y gases por productos a través de procesos biológicos.

## **Micra**

Unidad para describir una medida de longitud, igual a una millonésima de un metro.

## **Microorganismos**

Organismos que son tan pequeño que sólo pueden ser observados a través del microscopio, por ejemplo bacterias, fungi, levaduras, etc.

## **Neutralización**

La adición de sustancias para neutralizar el agua, tal que no sea ácida ni tampoco básica. Neutralización no significa especialmente pH de 7.0, solamente significa el punto de equivalencia de una reacción ácido-base.

## **Nitrificación**

Proceso biológico, durante el cual bacterias nitrificantes convierten el amoníaco tóxico en nitrato para disminuir su efecto dañino. Esto es comúnmente utilizado para eliminar sustancias de nitrógeno de las aguas residuales, pero en lagos y en pantanos esto ocurre de forma natural.

## **Nutriente**

Cualquier sustancia que promueve el crecimiento de organismos vivos. El término es generalmente aplicado para el nitrógeno y el fósforo en aguas residuales, pero es también aplicado a otros elementos esenciales y elementos traza.

## **No potable**

Agua que es insegura o desagradable para beber debido a su contenido en contaminantes, minerales o agentes infecciosos.

## **Ósmosis inversa**

El proceso de ósmosis inversa (OI) usa una membrana semipermeable para separar y eliminar sólidos disueltos, productos orgánicos, pirogénicos, materia coloidal submicroscópica, virus y bacterias del agua. El proceso es llamado ósmosis inversa ya que se requiere presión para forzar que el agua pura pase a través de la membrana, dejando las impurezas detrás.

## **Oxidación**

Reacción química en la cual los iones transfieren los electrones, para incrementar la valencia positiva.

## **Oxidación biológica**

Descomposición de materiales orgánicos complejos por microorganismos a través de la oxidación.

## **Oxígeno disuelto**

La cantidad de oxígeno disuelto en agua para un cierto tiempo, expresado en ppm o mg/L.

## **Ozono**

Un inestable agente oxidante, que consiste en tres átomos de oxígeno y puede ser formado en la capa de ozono de la atmósfera. Es producido por descarga eléctrica a través de oxígeno o por lámparas UV especialmente diseñadas.

## **Partes por millón**

Expresado como ppm; medida de la concentración. Un ppm es una unidad de peso de soluto por peso de solución. En análisis de agua un ppm es equivalente a mg/l.

## **Patógeno**

Enfermedad producida por microorganismos.

## **Permeabilidad**

La habilidad de un fluido para pasar a través de un medio bajo presión.

## **pH**

El valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculado por el número de iones de hidrógeno presente. Es medido en una escala desde 0 a 14, en la cual 7 significa que la sustancia es neutra. Valores de pH por debajo de 7 indica que la sustancia es ácida y valores por encima de 7 indican que la sustancia es básica.

## **Planta de tratamiento**

Una estructura construida para tratar el agua residual antes de ser descargada al medio ambiente.

## **Poro**

Una abertura en una membrana o en un medio que permite al agua pasar a través de él.

## **Pre-tratamiento**

Proceso utilizado para reducir o eliminar los contaminantes de las aguas residuales antes de que sean descargadas.

## **Productos químicos inorgánicos**

Sustancias químicas de origen mineral, no formadas básicamente por átomos de carbón.

## **Protozoo**

Microorganismo grande, el cual consume bacterias.

### ***Pruebas piloto***

Las pruebas de tecnologías limpias actuales bajo condiciones de laboratorio en orden de identificar problemas potenciales antes de su implantación.

### **Putrefacción**

Descomposición biológica de la materia orgánica; asociada con condiciones anaeróbicas.

### **Recirculación**

Reciclar el agua después de ser usada. A menudo esta tiene que pasar por un sistema de purificación de aguas residuales antes de poder ser reusada.

### **Redox**

Termino abreviado para las reacciones de reducción/ oxidación. Reacciones redox son una serie de reacciones de sustancias en las cuales la transferencia de electrones tiene lugar. La sustancia que gana electrones es llamada agente oxidante.

### **Reducción**

Una reacción química en la cual los electrones son ganados para reducir su valencia positiva.

### **Residuo**

Los residuos secos restantes después de la evaporación de una muestra de agua o de lodo.

### **Sedimentación**

Asentamiento de partículas sólidas en un sistema líquido debido a la gravedad.

### **Sedimentos**

Suelo, arena, y minerales lavados desde el suelo hacia la tierra generalmente después de la lluvia.

### **Semipermeable**

Un medio que permite al agua pasar a través de él, pero rechaza el paso de sólidos suspendidos, así que esto puede ser usado para la separación de sólidos del agua.

### **Sistema de aguas residuales**

Todo el sistema de recolección de aguas residuales, tratamiento, y traspasso.

## **SMF**

Sistemas de Micro Filtración, ello sirve para la separación automática total de sólidos/líquidos.

### **Sólidos disueltos**

Materiales sólidos que se disuelven totalmente en agua y pueden ser eliminados por filtración.

### **Sólidos sedimentables**

Producto sedimentables y son eliminados en ese camino. Aquellos sólidos suspendidos en las aguas residuales que se depositan después de un cierto periodo de tiempo.

### **Sólidos suspendidos**

Partículas sólidas orgánicas o inorgánicas que se mantienen en suspensión en una solución.

### **Sólidos totales**

Todos los sólidos en el agua residual o aguas de desecho, incluyendo sólidos suspendidos y sólidos filtrables.

### **Solubilidad**

La cantidad de masa de un compuesto que puede disolverse por unidad de volumen de agua.

### **Solubilidad acuosa**

La concentración máxima de un producto químico que se disuelve en una cantidad dada de agua.

### **Solubilidad del agua**

La posible concentración máxima de un compuesto químico disuelto en agua.

### **Soluto**

Materia disuelta en un líquido, como el agua.

### **Solvente**

Sustancia (usualmente líquida) capaz de disolver una o más sustancias.

## **Solvente clorado**

Un solvente orgánico que contiene átomos de cloro que es usado a menudo como aerosol spray en container, en pinturas de carreteras, y como fluidos de limpieza seca.

## **ST**

Sólidos totales. El peso de todos los sólidos presentes en el agua por unidad de volumen. Esto es usualmente determinado por evaporación. El peso total concierne tanto a materia suspendida y disuelta orgánica e inorgánica.

## ***Tamaño de partícula***

Los tamaños de partícula vienen determinado, por la más pequeña dimensión, por ejemplo el diámetro. Esta es usualmente expresada en tamaño de micras.

## ***Tamizado***

El uso de tamizadores para eliminar sustancias flotantes gruesas y sólidos suspendidos del sistema de alcantarillado.

## **Tanque de aireación**

Un tanque que se utiliza para inyectar el aire en el agua.

## **Test de la jarra**

Prueba de laboratorio con diferentes dosis químicas, mezcla a velocidad, tiempo de asentamiento, para estimar el mínimo o la dosis ideal de coagulante requerida para alcanzar los objetivos de calidad en un agua.

## **Tratamiento de agua avanzado**

Es el nivel de tratamiento de aguas que requiere una reducción del 85 por ciento en la concentración del agente contaminador, también conocido como tratamiento terciario.

## **Tratamiento de aguas residuales avanzado**

Cualquier tratamiento de aguas residuales que incluye el retiro de nutrientes tales como fósforo y nitrógeno y un alto porcentaje de sólidos suspendidos.

## **Tratamiento físico y químico**

Proceso generalmente usado para facilitar el tratamiento de aguas residuales. Proceso físico es por ejemplo la filtración. Tratamiento químico puede ser por ejemplo la coagulación, la cloración, o el tratamiento con ozono.

### **Tratamiento primario de aguas residuales**

La eliminación de sólidos suspendidos, flotando o precipitados de un agua residual sin tratar.

### ***Tratamiento secundario***

La eliminación o reducción de contaminantes y DBO del efluente procedente del tratamiento primario de las aguas residuales.

### **Tratamiento terciario**

Limpieza avanzada de aguas residuales que va más allá del secundario o el estado biológico, eliminando nutrientes como el fósforo, nitrógeno y la mayoría de la DBO y sólidos suspendidos.

### **Turbidez**

Medida de la no transparencia del agua debida a la presencia de materia orgánica suspendida.

### ***UV***

Ultra Violeta. Radiación que contiene una longitud de onda menor que la luz visible. Es a menudo usada para matar bacterias y romper el ozono.

## 13.- anexos



# AIMEX INGENIERIA Y CONSTRUCCION, S.A. DE C.V.

México, D.F. a 10 de marzo de 2009

RAZÓN SOCIAL: ING. JOSÉ LUIS ALEGRE LIZARDI

CALLE: NORTE 86 NO. 4211

COLONIA: MALINCHE

DELEG. O MPIO.: GUSTAVO A. MADERO

CIUDAD O ESTADO: MÉXICO, D.F.

AT'N: JOSÉ LUIS ALEGRE LIZARDI

Nos es grato, presentar los resultados realizados a su empresa del muestreo y análisis físico-químico a la muestra de agua residual identificada como: **Descarga No. 1**  
Código de la muestra: **158 - AR - 09 - 1** proveniente de :

## AGUAS DE ORIGEN DOMÉSTICO

Los parámetros fueron analizados bajo los lineamientos que estipulan las Normas Oficiales Mexicanas vigentes tipo AA en Materia de Contaminación Ambiental, referentes a aguas residuales; los resultados obtenidos se comparan con los Valores Máximos Permisibles establecidos en la Norma Oficial Mexicana:

## NOM-003-SEMARNAT-1997

Sin otro en particular y en espera de que esta información sea de utilidad reciban un cordial saludo.

## MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE ATENTAMENTE

ING. ALFREDO YAÑEZ BAEZ  
REPRESENTANTE Y SIGNATARIO AUTORIZADO  
Céd. Prof. 1720144



LABORATORIO ACREDITADO POR LA ENTIDAD MEXICANA DE ACREDITACIÓN, A.C., CON N°. REG. AG-014-003/08, VIGENCIA 2012-12-03

EL PRESENTE INFORME DE PRUEBA SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A EVALUACIÓN, MAS NO AL UNIVERSO DE LA MISMA.

ESTE INFORME NO DEBE REPRODUCIRSE EXCEPTO EN SU TOTALIDAD, SIN LA APROBACIÓN POR ESCRITO DEL LABORATORIO.

LABORATORIO APROBADO RED DE LABORATORIOS AMBIENTALES, CON N° REG. QRO/MEX/DF/REDLA005/AEA/AAR/MER/2009

LABORATORIO APROBADO POR LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, CON N°. REG. CNA-GSCA-523

ESTUDIO CON CALIDAD CERTIFICADA ISO 9001 - 2000, No. REG. 8691117



**INFORME DE RESULTADOS CONFORME A LA NOM-003-SEMARNAT-1997,  
DE CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES**

**CÓDIGO DE LA MUESTRA:** 158 - AR - 09 - 1

PERIODO DE MUESTREO: 12 - feb - 09  
a  
12 - feb - 09

PERIODO DE ANÁLISIS: 13 - feb - 09  
a  
09 - mar - 09

FECHA DE INFORME: 10 - mar - 09

**DATOS GENERALES DEL ESTABLECIMIENTO**

RAZÓN SOCIAL: **ING. JOSÉ LUIS ALEGRE LIZARDI**

CALLE: NORTE 86 NO. 4211

DELEG. Ó MPIO: GUSTAVO A. MADERO

COLONIA: MALINCHE

CIUDAD Ó ESTADO : MÉXICO, D.F.

C.P.: 07899

TEL(S) /FAX: 2603-5508

RESPONSABLE O REPRESENTANTE LEGAL : **JOSÉ LUIS ALEGRE LIZARDI**

CARGO : **REPRESENTANTE LEGAL**

**INFORMACIÓN DE LA ACTIVIDAD QUE GENERA LA DESCARGA**

GIRO: VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

No. EMPLEADOS: N.P.

REGISTRO DE DESCARGA DE AGUA RESIDUAL N.P.

ACTIVIDADES EN LAS QUE SE OCUPA EL AGUA: AGUAS DE ORIGEN DOMÉSTICO

FECHA DEL MUESTREO ANTERIOR: 21-feb-08

NUMERO DE HORAS QUE OPERA EL PROCESO: N.P.

UBICACIÓN DE LA DESCARGA: N.P.

TOTAL DE DESCARGAS: 1

DESCARGA No 1

**CUADRO RESUMEN DE PARÁMETROS FUERA DE NORMA (Si existen).**

DESCARGA No.	PARÁMETROS	VALOR OBTENIDO	UNIDADES

ANALISTA RESPONSABLE  
AUTORIZADO

ING. ALFREDO YAÑEZ BAEZ  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



**INFORME DE RESULTADOS CONFORME A LA NOM-003-SEMARNAT-1997.  
DE CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES**

**IDENTIFICACIÓN DEL INFORME:**

**158 - AR - 09 - 1**

PERIODO DE MUESTREO: 12 - feb - 09  
a  
12 - feb - 09  
  
PERIODO DE ANÁLISIS: 13 - feb - 09  
a  
09 - mar - 09  
  
FECHA DE INFORME: 10 - mar - 09

**TABLA DE RESULTADOS 1 ( PARÁMETROS DE CAMPO )**

PARÁMETROS	MIN.	MÁX.	PROM.	LMP-PM	MÉTODO
TEMPERATURA °C	N.P.	N.P.	N.P.	40	NMX-AA-007-SCFI-2000
pH Unidades de pH	N.P.	N.P.	N.P.	5,5 - 10	NMX-AA-008-SCFI-2000
CONDUCTIVIDAD µS/cm	N.P.	N.P.	N.P.	N.A.	NMX-AA-093-SCFI-2000
GRASAS Y ACEITES* mg / L	11,03	11,03	11,03	15	NMX-AA-005-SCFI-2000
MATERIA FLOTANTE	AUSENTE			AUSENTE	NMX-AA-006-SCFI-2000
GASTO L/s	TIPO DE MUESTRA INSTANTANEA			N.A.	N.A.

MCC GYA = 7,36 mg/L

**TABLA DE RESULTADOS 2 ( PARAMETROS OBLIGATORIOS )**

PARÁMETROS	RESULTADO	LMP - PM	UNIDADES	MÉTODO
CADMIO**	N.S.	0,2	mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001
COBRE**	N.S.	4	mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001
CROMO **	N.S.	1	mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001
NÍQUEL**	N.S.	2	mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001
PLOMO**	N.S.	0,5	mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001
ZINC**	N.S.	10	mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001
ARSÉNICO**	N.S.	0,2	mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001
MERCURIO**	N.S.	0,01	mg/L	NMX-AA-051-SCFI-2001
CIANUROS	N.S.	2	mg/L	NMX-AA-058-SCFI-2001
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO	14,27	20	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	5,6	20	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2001

**TABLA DE RESULTADOS 3 ( PARAMETROS ADICIONALES )**

PARÁMETROS	RESULTADO	LMP - PM	UNIDADES	MÉTODO
COLIFORMES FECALES	150	240	NMP/100 ml	NMX-AA-042-1987
HUEVOS DE HELMINTO	< 1	1	NH/L	NMX-AA-113-SCFI-1999

N.A. : No Aplica  
p.p. - Promedio Ponderado  
\*\* - Parámetro referido NOM-001-SEMARNAT-1996, Tabla 2 LMP-PM Embalses Naturales y Artificiales (B)  
< LDM: Menor al Limite de Detección del Método  
< LPC: Menor al Limite Practico Cuantificable

MCC: Mínima Cantidad Cuantificable  
N.S. : No Solicitado  
LMP-PM: LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PROMEDIO MENSUAL  
N.P. : NO PROPORCIONADO

  
 ANALISTA RESPONSABLE  
AUTORIZADO

  
 ING. ALFREDO YAÑEZ BAEZ  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

LA COMISION NACIONAL DEL AGUA EXPIDE LA PRESENTE APROBACION A FAVOR DE:

AIMEX, INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN, S.A. DE C.V.

En las determinaciones analíticas de: MUESTREO, MEDICIONES DIRECTAS, COLORIMETRÍA, VOLUMETRÍA, GRAVIMETRÍA, ESPECTROFOTOMETRÍA DE U.V. VIS, MICROBIOLOGÍA Y ABSORCIÓN ATÓMICA.

En los términos de la evaluación técnica 523 la Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, de acuerdo con la documentación presentada por el laboratorio el 12 de Febrero de 2007.

Datos generales del Laboratorio:

<b>DOMICILIO:</b> Calz. Tlalpan No. 1634, Col. Ermita, C.P. 03590, México, D.F.	<b>APROBACION No.:</b> CNA-GSCA-523
------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------

<b>FUNDAMENTO LEGAL:</b> Artículo 70 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, publicada en el Diario Oficial de la Federación en 1997. NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminación en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.	<b>OBJETIVO:</b> Aprobación de los laboratorios que realizan análisis de calidad del agua.	<b>VIGENCIA:</b> Del 02 de Febrero de 2007 al 02 de febrero del 2009.
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------

Dr. Felipe L. Arrequin Cortés  
Subdirector General Técnico

Parámetros aprobados al reverso

AIMEX, INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN, S.A. DE C.V.

MEDICIONES ANALÍTICAS APROBADAS

Análisis de agua - Determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba	NMX-AA-007-SCFI-2000
Análisis de agua - Determinación del pH - Método de prueba	NMX-AA-008-SCFI-2000
Análisis de agua - Determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba	NMX-AA-004-SCFI-2000
Análisis de agua - Determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba	NMX-AA-005-SCFI-2000
Análisis de agua - Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - Método de prueba (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn, Al, Ca, Fe, Mg, Mn, K y Na)	NMX-AA-051-SCFI-2001
Análisis de agua - Determinación de cianuros totales en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - Método de prueba	NMX-AA-058-SCFI-2001
Análisis de agua - Determinación de cromo hexavalente en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - Método de prueba	NMX-AA-044-SCFI-2001
Análisis de agua - Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO <sub>5</sub> ) y residuales tratadas - Método de prueba	NMX-AA-028-SCFI-2001
Análisis de agua - Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba	NMX-AA-034-SCFI-2001
Análisis de agua - Determinación de nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba	NMX-AA-026-SCFI-2001
Análisis de aguas - Determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba	NMX-AA-029-SCFI-2001
Análisis de agua - Determinación de materia flotante en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba	NMX-AA-006-SCFI-2000
Análisis de agua - Determinación de la conductividad eléctrica - Método de prueba	NMX-AA-093-SCFI-2000
Análisis de agua - Determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba	NMX-AA-030-SCFI-2001
Calidad del agua - Determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y Escherichia Coli presuntiva	NMX-AA-042-1987
Análisis de agua - Determinación de huevos de helminto - Método de prueba	NMX-AA-113-SCFI-1999
Aguas residuales muestreo	NMX-AA-003-1980
Cuerpos receptores muestreo	NMX-AA-014-1980
Análisis de agua - Determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba	NMX-AA-012-SCFI-2001
Análisis de aguas - Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba	NMX-AA-036-SCFI-2001
Análisis de aguas - Determinación de sustancias activas al azul de metileno en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - Método de prueba	NMX-AA-039-SCFI-2001
Análisis de aguas - Determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba	NMX-AA-072-SCFI-2001
Determinación del ión sulfato.	NMX-AA-074-1981

Fecha de elaboración: Abril 2007

REPRESENTANTE AUTORIZADO

ING. ALFREDO YAÑEZ BAÉZ

## 14.- Abreviaturas

TOC	Carbono orgánico total (Total Organic Carbon).
DQO	Demanda química de oxígeno.
DBO	Demanda biológica de oxígeno.
UV	Ultravioleta.
MF	Microfiltración.
UF	Ultrafiltración.
NF	Nanofiltración.
RO	Osmosis inversa.
PH	Potencial de Hidrógeno.
COT	Carbono orgánico total.
BRM	Biorreactores de membrana.
AR	Aguas residuales.
ADN	Acido desoxirribonucleico.
MEAP	Meningeoncefalitis ambiana primaria.

### 14.1 Unidades de medida.

Pa	Es la unidad de presión del Sistema Internacional de Unidades. Se define como la presión que ejerce una fuerza de 1 newton sobre una superficie de 1 metro cuadrado normal a la misma.
kpa	Es una unidad de presión que equivale a 1 000 pascales.
Newton	Se define como la fuerza necesaria para proporcionar una aceleración de $1 \frac{m}{s^2}$ a un objeto cuya masa es de 1 kg.
Å	Ångstrom .Unidad de medida equivalente a la diez mil millonésima parte del metro, 0.000,000,000,1 metros.
bar	Se denomina bar a una unidad de presión equivalente a un millón de barias, aproximadamente igual a una atmósfera (1 Atm). $1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa}$ .
nm	Nanometro. Unidad de longitud que equivale a una milmillonésima parte de un metro. $1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9}$
µm	El micrómetro es la unidad de longitud equivalente a una millonésima parte de un metro. $1 \mu\text{m} = 0,001 \text{ mm}$ $1 \mu\text{m} = 0,000\,001 \text{ m}$
Hm <sup>3</sup>	1,000,000 m <sup>3</sup>
Psi	Se denomina psi (del inglés Pounds per Square Inch) a una unidad de presión cuyo valor equivale a 1 libra por pulgada cuadrada. $1 \text{ Libra/pulgada cuadrada (psi)} = 6894,75 \text{ pascales}$ .
NMP/100 ml	Número más probable de colonias coliformes fecales por 100 ml.

### 14.2 Siglas

EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.
CIPRO	Centro de Investigaciones en Procesos.
CETER	Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables.
IUPAC	Unión Internacional de Química Pura y Aplicada.