



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

División de Ciencias e Ingenierías

***PROCESOS DE DESINFECCIÓN DE AGUA PARA
CONSUMO HUMANO***

TRABAJO MONOGRÁFICO

Para obtener el Grado de
Licenciado en Ingeniería Ambiental

PRESENTA

Priscila Bocanegra Aguilar

DIRECTOR DE MONOGRAFÍA

M.C. José Martín Rivero Rodríguez

Chetumal, Quintana Roo, México, marzo de 2008.



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

LICENCIATURA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Trabajo Monográfico elaborado bajo la supervisión del Comité de Asesoría
y aprobado como requisito parcial, para obtener el grado de:

Licenciado en Ingeniería Ambiental

COMITÉ:

DIRECTOR: _____

M.C. José Martín Rivero Rodríguez

ASESOR: _____

M.I. Juan Carlos Ávila Reveles

ASESOR: _____

Dr. José Manuel Carrión Jiménez

Chetumal, Quintana Roo, marzo de 2008.

Dedicada a mis padres, María Antonieta Aguilar Ríos y Ángel Bocanegra Quiroz.

Mil Gracias.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer profundamente a mis asesores de monografía por su gran apoyo, en especial a José Martín Rivero Rodríguez, por su infinita paciencia y comprensión en todo momento, así como por compartirme sus conocimientos y su amistad.

Agradecimiento especial a Víctor Manuel Martínez Lorenzo, quien me abrió siempre las puertas de su empresa para brindarme su apoyo e información necesaria para la realización de este trabajo.

CONTENIDO

JUSTIFICACIÓN	1
Objetivo general	1
Objetivos particulares	1
INTRODUCCIÓN	2
ANTECEDENTES	4

CAPITULO I.- ENFERMEDADES HÍDRICAS

I.1 Enfermedades Microbiológicas Transmitidas por el Agua	5
I.1.1 Cólera	5
I.1.2 Fiebre tifoidea	6
I.1.3 Disentería amebiana	7
I.1.4 Shigelosis	7
I.1.5 Protozoarios patógenos	8
I.1.5.1 <i>Cryptosporidium sp</i>	8
I.1.5.2 <i>Giardia lamblia (duodenalis)</i>	8
I.1.6 Helmintos relacionados con el agua	9
I.2 Casos de infecciones en el estado de Quintana Roo	10

CAPÍTULO II.- PROCESOS DE DESINFECCIÓN DEL AGUA

II.1 Procesos físicos de desinfección	11
II.1.1 Desinfección solar	11
II.1.1.1 <i>Concentradores solares</i>	12
II.1.1.2 <i>Destiladores solares</i>	13

II.1.1.3 <i>Desinfección en botellas y recipientes pequeños</i>	14
II.1.2 Filtración lenta	15
II.1.3 Ebullición	18
II.1.4 Radiación ultravioleta	19
II.1.5 Minifiltración: Ósmosis inversa	23
II.2 Procesos químicos de desinfección	25
II.2.1 Cloro y sus derivados	25
II.2.1.1 <i>Cloro gas</i>	26
II.2.1.2 <i>Cal clorada</i>	27
II.2.1.3 <i>Hipoclorito de sodio</i>	27
II.2.1.4 <i>Hipoclorito de calcio</i>	28
II.2.1.5 <i>Dióxido de cloro</i>	29
II.2.1.6 <i>Punto de quiebre</i>	32
II.2.2 Ozono	33
CAPITULO III.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PROCESOS DE DESINFECCIÓN	
III.1 Procesos físicos	37
III.1.1 Desinfección solar	37
III.1.2 Filtración lenta	37
III.1.3 Radiación Ultravioleta	37
III.1.4 Minifiltración: Ósmosis inversa	38
III.1.5 Ebullición	39

III.2 Procesos químicos	39
III.2.1 Cloro y derivados	39
III.2.1.1 Dióxido de cloro	39
III.2.2 Ozono	40

III.3 Tabla de comparaciones generales	41
---	----

CAPITULO IV.- DESINFECCIÓN EN AGUA POTABLE Y AGUA PURIFICADA

IV.1 Marco normativo	43
IV.2 Procesos generales de potabilización	44
IV.3 Potabilización en aguas de abastecimiento de Chetumal Q. Roo	46
IV.4 Agua purificada	49

CAPÍTULO V.- DESINFECCIÓN EN UNA PLANTA PURIFICADORA DE AGUA

V.1 Desinfección en planta purificadora Agua Ultrapura San Antonio	50
V.1.1 Materia prima	50
V.1.2 Filtración del agua y eliminación de sólidos disueltos	50
V.1.2.1 <i>Filtrado con arena</i>	50
V.1.2.2 <i>Filtrado con carbón activado</i>	51
V.1.2.3 <i>Filtrado con resinas de intercambio iónico</i>	52
V.1.3. Purificación a través de ósmosis inversa	53
V.1.4 Control bacteriológico	53
V.1.5 Desinfección de garrafones	54
V.2 Otras plantas purificadoras	55

CONCLUSIONES	57
BIBLIOGRAFÍA	59
ANEXO 1	69
ANEXO 2	70
ANEXO 3	73
ANEXO 4	75

JUSTIFICACIÓN

El conocimiento de los diferentes procesos para la desinfección del agua como elemento primordial de consumo humano en todo el mundo, es de gran importancia, ya que cada vez es menor la calidad del agua disponible en las fuentes de abastecimiento; esto es debido a diversas causas, principalmente a las ocasionadas por las actividades del mismo hombre. Así, es necesario estar consciente de que el hombre ha sido el principal causante de la contaminación de las aguas, de ahí la importancia de su desinfección. Ello hace necesario el conocer y comparar las diferentes técnicas para seleccionar de ellas las más adecuadas según sean las condiciones del lugar y diversos aspectos, como el nivel de riesgo a la salud de la población, el consumo energético, los costos y la eficacia, entre otros. Este trabajo tendrá como fin servir como fuente de conocimiento para toda persona interesada en el tema.

Objetivo general

Recopilar y analizar información sobre los procesos existentes para desinfección de agua para consumo doméstico.

Objetivos particulares

- Adquirir un conocimiento profundo sobre el tema.
- Realizar una comparación entre los distintos métodos existentes, mencionando las ventajas y desventajas según sea el tipo de método.
- Mencionar algunos métodos usados en nuestro Estado.
- Realizar un trabajo que sirva como fuente de información a toda persona con interés sobre el tema.

INTRODUCCIÓN

El agua (H_2O), es un elemento vital para la vida al igual que el fuego, aire y la tierra. Como tal posee ciertas características físicas, químicas y bacteriológicas que definen su calidad. Para que el agua pueda ser usada ó consumida debe estar libre de toda sustancia química ó patógena, olor o sabor que pueda generar enfermedades a la salud.

Las aguas que utilizamos para nuestro consumo pueden provenir de tres fuentes: agua de lluvia, aguas superficiales y aguas subterráneas. La fuente más usada en muchos lugares del mundo es la subterránea, aunque hay que mencionar que generalmente los tres tipos de fuente pueden tener contacto con sustancias como: partículas, bacterias, materia orgánica, que en general pueden combinarse con el agua en cantidades suficientes capaces de contaminarla y producir enfermedades, epidemias e incluso la muerte. Es por eso que todas las aguas naturales necesitan de algún tratamiento para dejarlas libres de impurezas capaces de dañar nuestra salud. Cuando el agua es apta para nuestro consumo la llamamos potable. En líneas generales, un agua está contaminada cuando pierde su potabilidad para consumo diario o uso en actividades domésticas, industriales o agrícolas.

El proceso de purificación ó potabilización del agua consiste en someterla a uno o varios procesos de tratamiento dependiendo de la calidad del agua cruda. Estos procesos son generalmente: clarificación, filtración, y desinfección. Ahora bien, el que trataremos en este trabajo es el de la desinfección de agua para consumo doméstico, cuya finalidad es la de eliminar a los organismos patógenos que puedan causar enfermedades al consumidor. El método más usado para este proceso es el de cloración, que requiere de gran cuidado pues una dosis insuficiente no produce la desinfección total, y una dosis excesiva produce efectos negativos para la salud.

El proceso de desinfección como parte de un tratamiento completo del agua debe considerarse como la parte principal del tratamiento. En países desarrollados, este proceso está implementado con todo el conocimiento y valoración de lo que representa, pero en países subdesarrollados y principalmente en sus áreas rurales, el proceso en general de potabilización es ineficiente por lo que no hay un respeto a la protección de la salud pública.

La capacidad del agua para transmitir enfermedades depende de su calidad microbiológica. Así la fuente principal de infección para el agua es la exposición de la misma a heces fecales de animales y humanos. Sólo las enfermedades diarreicas producidas por la falta de salubridad del agua causan en todo el mundo 30.000 muertos por semana, principalmente en los niños.¹

En el último medio siglo, las demandas del agua se han triplicado. En muchas regiones del mundo la contaminación es la que está reduciendo notablemente la disponibilidad del agua utilizable. Por consiguiente, la falta de agua adecuada para el consumo es una fuente importante de enfermedades, por lo que para proteger la salud no basta con tener agua. Actualmente la cuarta parte de la población mundial vive con escasez de agua potable y esta proporción se duplicará dentro de veinte años.²

Debido a que no siempre será conveniente ni necesario realizar un tratamiento completo al agua, al menos debe procurarse el proceso de desinfección que garantice un agua apta para su consumo.

ANTECEDENTES

A lo largo de la existencia humana, las poblaciones comenzaron a utilizar los ríos y cuerpos naturales de agua no sólo para abastecerse de agua y alimento, sino también para deshacerse de sus desperdicios domésticos. Con ello comenzaron a desarrollarse diversas enfermedades y epidemias provocadas por organismos patógenos. Así las fuentes de agua limpia comenzaron a escasear, haciéndose cada vez más necesario buscar métodos efectivos para desinfectarla. Por ejemplo durante las pandemias del siglo XIX el cólera se diseminaba rápidamente de la India a casi todo el mundo; durante la primera mitad del siglo XX la enfermedad estuvo confinada al Continente Asiático. En México se presentó el cólera en la ciudad de Guadalajara en el año de 1832, donde la enfermedad llegó procedente de Europa transportada por emigrantes infectados.³ Fue así como poco a poco surgió la necesidad de purificar el agua.

En el antiguo Egipto utilizaban un método muy sencillo para purificar el agua que consistía en vaciar el agua en vasijas de barro, en donde permanecía durante un año. Luego de este tiempo, las impurezas se habían depositado en el fondo y por medio de un sifón extraían de la parte superior de la vasija el agua purificada.⁴

Las antiguas culturas orientales, usaban la arena o barro poroso a manera de filtros por los que pasaban el agua para limpiarla de sus impurezas. El método más antiguo y universal es el de la ebullición al igual que la pasteurización que logra la eliminación de los elementos patógenos sin ser necesario llegar a 100° C; basta una adecuada relación entre temperatura y tiempo para que se produzca la desinfección. En la actualidad existen diversas técnicas para desinfectar el agua de las cuales la cloración ha sido la más usada en todo el mundo por la alta capacidad oxidante del cloro, su efecto residual y sus bajos costos.

CAPITULO I.- ENFERMEDADES HÍDRICAS

Las enfermedades hídricas se clasifican de acuerdo a su agente transmisor en:

- Enfermedades Microbiológicas Transmitidas por el Agua (EMTA): Las ocasionadas por patógenos que ingresan al organismo por la vía oral.
- Enfermedades Químicas Transmitidas por el Agua (EQTA): Las ocasionadas por sustancias tóxicas de origen natural ó artificial en altas concentraciones.

Las enfermedades de interés en este trabajo son las microbiológicas, que se producen en aguas mal almacenadas, por prácticas higiénicas deficientes y por consumo de aguas sin tratamiento, ya que favorecen su propagación. Las bacterias y otros organismos también pueden llegar a los cursos de agua a través del drenaje de lluvias, de las descargas de plantas de procesamiento de carne de ganado y aves, y de esorrentías que pasan por los corrales de ganado.

Las EMTA se generan por virus, bacterias, hongos, protozoos ó helmintos, de los cuales algunos pueden completar su ciclo de vida al pasar por un portador acuático intermedio, mientras que otros son transportados por el agua de un hombre a otro. Se pueden adquirir enfermedades al tomar directamente el agua, al consumir los alimentos preparados con ella ó al bañarnos con agua contaminada.

I.1 Enfermedades Microbiológicas Transmitidas por el Agua

I.1.1 Cólera

El cólera es una enfermedad grave, ocasionada por una infección intestinal, el agente infeccioso es un bacilo aerobio, Gram negativo de un solo flagelo de nombre *Vibrio cholerae*. Esta enfermedad se caracteriza por la aparición de diarrea acuosa profunda con restos de mucosa intestinal, vómito, borborismos con dolor abdominal, entumecimiento de piernas y deshidratación que puede llevar al

paciente a acidosis y colapso circulatorio en el término de 24 horas y en casos no tratados puede ocurrir la muerte en pocas horas. La pérdida de agua por heces puede alcanzar cantidades como 15 a 24 litros por día.

El vibrión del cólera puede sobrevivir por periodos de hasta 7 días fuera del organismo, especialmente en ambientes húmedos y templados; en el agua sobrevive unas cuantas horas y si ésta se encuentra contaminada con material orgánico sobrevive por algunas semanas. La bacteria del cólera también puede vivir en ríos salobres y aguas costeras.

I.1.2 Fiebre tifoidea

La fiebre tifoidea o tifus es una enfermedad infecciosa sistémica, febril, que se conoce también con el nombre de fiebre entérica; es causada por una bacteria llamada *Salmonella typhi* que suele abundar en las aguas sépticas y contaminadas. El periodo de incubación suele ser de 7-14 días, pero puede variar entre 3-30 días.

Los síntomas pueden ser severos ó leves e incluyen dolor de cabeza, fiebre, molestia general, pérdida del apetito, estreñimiento ó diarrea y tos seca. Los latidos del corazón se hacen lentos y el bazo aumenta de tamaño. 1 de cada 10 enfermos desarrollan manchas rosadas en el tronco del cuerpo (roséola) y otras personas no presentan síntomas. La fiebre se mantiene alta (39-40° C) durante 1 o 2 semanas. Los síntomas pueden aparecer desde 3 días a 3 meses después de la exposición, con un tiempo usual de 1-3 semanas. Finalmente, al evolucionar las lesiones en el intestino, aparece diarrea abundante con sangre. La convalecencia puede durar meses.

I.1.3 Disentería Amebiana

Esta enfermedad también conocida como amebiasis intestinal es producida por un tipo de ameba, un protozooario parásito de nombre *Entamoeba histolytica* que existe en dos formas evolutivas: trofozoito y quiste. La infección es producida por la ingestión del quiste maduro. Este parásito se establece en el intestino donde puede vivir como comensal sin que produzca alguna enfermedad. La mayoría de las infecciones son asintomáticas pero raras veces se introducen en los vasos sanguíneos para transportarse al hígado y a otros órganos produciéndose grandes destrucciones. Esta es una enfermedad infecciosa que ataca al ser humano en cualquier edad, siendo más frecuente en niños y adultos jóvenes. Los síntomas que se pueden presentar aparecen a las 48 horas de la ingestión del contaminante abarcando diarrea sanguinolenta, dolor abdominal bajo, fiebre, pérdida de peso en un tiempo de 10 a 20 días. En los abscesos amebianos los síntomas son fiebre, deterioro general y dolor en la parte superior derecha del abdomen.

Puesto que las amebas resisten el ácido del estómago, pueden pasar al intestino delgado donde se liberan los trofozoitos y se produce una nueva infección. Otros trofozoitos se enquistan en el colon y se eliminan por las heces, que es la forma en que se disemina la infección. El quiste puede resistir distintas condiciones del medio, pueden sobrevivir al menos ocho días a temperaturas entre 20 y 40 ° C, 40 días a los 2 y 6 ° C y temperaturas de congelación.

I.1.4 Shigelosis

Esta es una enfermedad infecciosa de los intestinos grueso y delgado ocasionada por un grupo de bacteria llamada *Shigella* que está presente en las heces. Los síntomas pueden presentarse después de 12 horas de la infección hasta una semana después, los más comunes son: diarrea, fiebre, náuseas, calambres, vómitos y en las deposiciones pueden aparecer sangre, mucosidades y pus. Algunas personas pueden no presentar síntomas.

En niños menores de 2 años como en ancianos la diarrea puede ser tan grave que el paciente tenga que ser hospitalizado; en niños la fiebre puede estar acompañada de convulsiones y ataques. Esta enfermedad tiene una duración de 5 a 7 días.

I.1.5 Protozoarios patógenos

Entre los protozoarios patógenos, los que presentan mayor importancia en cuanto a la calidad del agua para diversos usos son *Giardia* sp. y *Cryptosporidium* sp. Otros protozoarios relacionados con el agua son *Hartmannella vermiformis*, *Toxoplasma gondii*, *Cyclospora cayetanensis*, *Balantidium coli*, *Acanthamoeba griffini*, *A. culbertsoni* y *A. castellanii*.

I.1.5.1 *Cryptosporidium* sp.- Bajo el estado de vida como quiste, tiene 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, con síntomas que incluyen diarrea aguda, náuseas y/o dolor de estómago. Individuos con inmunodeficiencia severa son más propensos a tener síntomas intensos y persistentes que las personas saludables. Es considerado 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.

I.1.5.2 *Giardia lamblia (duodenalis)*- Es un protozoario flagelado parásito, que se encuentra en el intestino delgado y se transmite en forma de quiste, su otra forma de vida puede ser el trofozoito. Causa dolores estomacales, diarrea, náuseas, fatiga, ardor epigástrico y otros síntomas compatibles con úlcera o gastritis. La principal ruta de transmisión es la fecal-oral y los niños y personas con inmunodeficiencia son los grupos que presentan el riesgo más alto de contraer la

infección. 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. Este protozooario es el parásito que se encuentra con más frecuencia en el agua.

En la actualidad se presta mayor atención a la remoción de *Cryptosporidium* del agua para consumo humano, porque sus quistes presentan menor tamaño (4-6 mm), que los de *Giardia* (8-14 mm). Los quistes de *Cryptosporidium* ofrecen mayor resistencia a los desinfectantes y condiciones ambientales, y tienen un mayor potencial para contaminar el agua a través de las heces de animales. *Cryptosporidium* también presenta una mayor tasa de infección en la población expuesta (40% para *Cryptosporidium*, contra 1% a 10% de *Giardia*), mucho mayor tasa de enfermos entre los infectados (95% contra 50%) y ausencia de un tratamiento adecuado para la enfermedad.

I.1.6 Helmintos relacionados con el agua

Tabla 1. Huevos ó larvas de parásitos helmintos relacionadas con el agua. ⁵

Huevos ó larvas de parásitos	Enfermedad parasitaria
<i>Taenia solium</i>	Solitaria
<i>Taenia echinococcus</i>	Quiste Hepático
<i>Ascáridos</i>	Gusanos Intestinales
<i>Ancylostoma duodenale</i>	Anquilostomiasis
<i>Trichinella spiralis</i>	Triquinosis
<i>Filaria bancrofti</i>	Elefantiasis.

I.2 Casos de infecciones en el Estado de Quintana Roo

De acuerdo con información reciente obtenida por entrevista con Dr. Marco Antonio Castillo Galindo (Director General de Epidemiología, Secretaría de Salud, Chetumal, Quintana Roo, agosto de 2007) las infecciones más frecuentes en el Estado de Quintana Roo ocasionadas por microorganismos son las que se muestran a continuación.

Esta información mostrada en la tabla 2 es la más reciente y comprende de la primera semana, a la semana 26 del año 2007.

Tabla 2. Número de casos de infecciones en Q. Roo de la 1ª a la 26ª semana de 2007.

INFECCIÓN	Othón P. Blanco	Cozumel	Isla M.	Benito Juárez	Lázaro Cárdenas	Solidaridad	Felipe Carrillo Puerto	José María Morelos
Amebiasis intestinal	904	200	136	1,554	191	391	548	227
Fiebre tifoidea	10					2		
Giardiasis	38	47	1	68	1	32	13	5
Infecciones intestinales por otros organismos	6,887	1967	521	13,145	421	3,810	997	274
Paratifoidea y otras salmonelosis	284	74	9	451	16	117	493	14
Shigelosis	6			8	7	1		1

De estos casos de enfermedades no se tiene registro alguno sobre cuántos de ellos han sido ocasionados por consumo de agua, por alimentos o por otras fuentes contaminadas. Además, este registro es de las personas que acudieron al médico en la Secretaría de Salud, por lo que a ello habría que sumar la cantidad de gente que no acudió a la Secretaría y que no se encuentra registrada en este cuadro.

CAPÍTULO II.- PROCESOS DE DESINFECCIÓN DEL AGUA

Los métodos de desinfección de agua pueden clasificarse de acuerdo al tipo de proceso que realicen, en: procesos químicos, físicos ó biológicos. Los más comunes son los químicos y los físicos. En los primeros se utilizan sustancias químicas para lograr la desinfección, como es el caso del cloro y del ozono. En los físicos no se utiliza ninguna sustancia química.

II.1 Procesos Físicos de Desinfección

II.1.1 Desinfección Solar

En este método se usan algunas alternativas de bajo costo mediante energía solar, por lo que sólo es servible en aquellos lugares donde exista conveniente radiación solar. Es un proceso térmico en donde se eleva la temperatura del agua por un espacio suficiente de tiempo en contenedores acondicionados para lograr la absorción del calor proveniente de la radiación solar. Este proceso destruye coliformes y otras bacterias no termotolerantes.

El funcionamiento de la desinfección solar se basa en la pasteurización que es la exposición de una sustancia alimenticia (el agua en este caso), durante un tiempo suficiente a una temperatura inferior a su punto de ebullición para destruir los gérmenes patógenos.

Las altas temperaturas tienen un marcado efecto sobre todos los microorganismos; las células vegetativas mueren debido a la desnaturalización de las proteínas y la hidrólisis de otros componentes.⁶

Las bacterias mueren entre los 40 y los 100° C, las algas, protozoarios y hongos alrededor de los 40 y hasta 60° C. Las esporas a 120 °C en vapor por 20 minutos, ó a 170 ° C en calor seco por 90 minutos.

La condición para que haya una prevención efectiva de enfermedades gastrointestinales de origen hídrico por radiación solar es que los niveles de radiación promedio sean de al menos 555 W/ m^2 (dosis integrada en el rango de longitud de onda de 350 a 450 nm) lo cual corresponde a cinco horas de insolación en verano ⁷. Otros estudios mencionan que la longitud de onda óptima para desinfección se encuentra en el rango de 250 a 266 nm. En general, la sensibilidad a las diversas longitudes depende de la intensidad y de las especies de microorganismos.

El tiempo de exposición es el mismo para todos los equipos de desinfección solar, de cuatro a cinco horas en el periodo de mayor radiación: de las 11:00 a las 16:00 horas.

II.1.1.1 Concentradores solares

Los concentradores solares como su nombre lo indica, concentran el calor de la radiación solar en un solo punto. El principio de funcionamiento se basa en la forma que tiene, la de una antena parabólica, que en su parte interior se encuentra tapizada con material reflector el cual puede ser aluminio, cuyo efecto es el de reflejar los rayos del sol en un solo punto.



Fig. 1. Concentrador solar.

En el punto de concentración se tiene una base que sostiene a un recipiente de metal con el agua a desinfectar. Las temperaturas pueden alcanzar hasta los 350°C lo que permite desinfectar el agua, si el equipo está bien construido, a base de pasteurización ó a base de ebullición. La cantidad de agua que produce en un día depende del tamaño del recipiente de metal. Su costo varía con el material, hay que fabricarlos ya que no hay en el mercado.

II.1.1.2 Destiladores solares

Este equipo tiene un principio de funcionamiento similar al ocurrido en el ciclo natural del agua. Es decir el agua se evapora y se condensa librándose de sales y otros contaminantes contenidos anteriormente. Una vez evaporada se obtiene agua purificada.



Fig.2. Destilador solar

El destilador más simple está compuesto por una charola horizontal ó algún recipiente de color negro que permita la captación y retención del calor en el agua a destilar. A esta charola se le llama destilando.

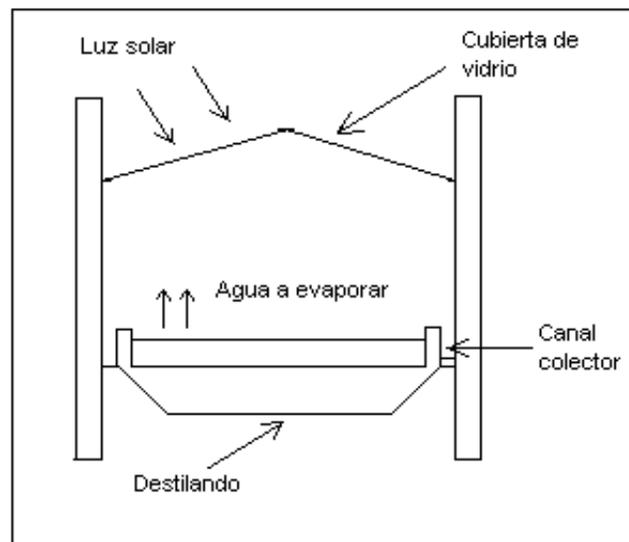


Fig. 3. Componentes de un destilador solar

El agua que se evapora es retenida por una cubierta de vidrio que se encuentra en la parte superior y que puede tener distintos diseños, de tal modo que el agua sea

escurrida y colectada a los lados del destilador en unos pequeños canales. El diseño más usado consiste en una cubierta en forma de dos aguas con ángulo aproximado de 20 ° con respecto a la horizontal.

Para la operación y mantenimiento, es necesario ir alimentando de agua al destilando conforme el agua se vaya evaporando. La alimentación puede ser de una vez al día y el agua desinfectada debe consumirse durante las 24 horas siguientes. En días soleados puede desinfectar entre 3 y 5 litros de agua dependiendo del tamaño. Su costo depende del tamaño y material, los utilizados en México tienen costos desde 450 hasta 650 dólares.⁸

II.1.1.3 Desinfección en botellas y recipientes pequeños

Este es un equipo bastante sencillo y económico que consiste en el uso de botellas de plástico que pueden pintarse o no de color negro en la parte de abajo o toda la botella. Se llenan de agua y se colocan en posición horizontal, de modo tal que la radiación solar pueda abarcar toda la botella.

Las botellas pueden colocarse sobre una superficie reflectora como papel aluminio que ayude a elevar la temperatura del agua, y se recomienda usar botellas transparentes. No implican costo alguno.

En general se sabe que la remoción de coliformes se alcanza con temperaturas de 55 ° C, aunque para mayor seguridad se recomienda alcanzar los 65° C. Por ello, para el monitoreo de los equipos descritos es conveniente el uso de termómetros que comprueben la temperatura alcanzada.⁶

II.1.2 Filtración Lenta

Este proceso es usado comúnmente para eliminar la turbiedad del agua; sin embargo puede ser operado adecuadamente para desinfección. El proceso es similar al que ocurre en la naturaleza, cuando el agua de lluvia se filtra a través del suelo y se almacena en los acuíferos. No requiere de ninguna sustancia química, pero requiere de un buen diseño. Los tanques de los filtros deben ser cuando menos dos, conformados por el agua a desinfectar, el lecho de arena, drenaje y dispositivos de regulación.



Fig. 4. Filtrador lento

Debido a que requiere de áreas grandes, su costo inicial es mayor en comparación a los costos de operación. El agua a desinfectar al entrar al medio desinfectante permanece ahí de tres a doce horas, mientras las partículas más pesadas sedimentan y las más pequeñas se aglutinan para ser removidas posteriormente. Con la luz del sol, se propicia el crecimiento de algas, que realizan un proceso en el que absorben el dióxido de carbono, los nitratos, fosfatos y materia orgánica. El oxígeno que se forma reacciona con impurezas orgánicas y hace que se vuelvan más asimilables para los microorganismos.

Igualmente en la superficie del medio filtrante se forma una capa biológica “piel de filtro” conformada por algas, microorganismos como bacterias, protozoarios, plankton, los cuales digieren y degradan la materia orgánica contenida en el agua, se remueve algo de color y algunas partículas inertes son retenidas. A lo largo del medio filtrante, ocurren mecanismos con procesos tanto físicos como biológicos:

Mecanismo de transporte: Aquí se dan procesos como el cernido, la intercepción de partículas al colisionar con los granos de arena, la sedimentación, la difusión que se puede dar cuando las trayectorias de las partículas se ven modificadas por la energía térmica y los gases disueltos en el agua; y el flujo intersticial, que puede darse por las distintas trayectorias de las líneas de flujo a lo largo de los intersticios del medio filtrante.

Mecanismo de adherencia: Se da cuando las partículas se adhieren a los granos de arena gracias a las fuerzas eléctricas, reacciones químicas y por la película biológica que crece en ellos. En éste es donde los microorganismos patógenos son eliminados por organismos de mayor tamaño a lo largo del medio filtrante.

Mecanismo biológico: Para que un filtro opere como un verdadero desinfectante, es necesario que éste tenga una buena película biológica y en suficiente cantidad. Las bacterias que ahí se encuentran se alimentan de materia orgánica, la que utilizan para obtener su energía.

En la superficie de los granos de arena se forma también una capa similar a la piel de filtro que tiene su misma función, pero conforme aumenta la profundidad de las capas filtrantes, la actividad microbiológica va siendo menor debido a que cerca de la superficie hay mejores condiciones y mayor cantidad de alimento. Después de 0.3 a 0.5 metros la actividad microbiológica puede desaparecer. Finalmente la materia orgánica degradable es descompuesta gradualmente en agua, dióxido de carbono, sulfatos, nitratos, fosfatos que se descargan en el efluente de los filtros. En el proceso no se generan subproductos nocivos a la salud ya que no se usan compuestos químicos. Todo lo que se genera es: dióxido de carbono, fosfatos, nitratos, sulfatos y un poco de oxígeno disuelto.

En cuanto a equipo, sólo si es necesario se usa una bomba para subir agua al filtro; dependiendo de la calidad del agua podrá usarse equipo adicional al filtro lento. La velocidad de filtración debe estar entre 0.1 a 0.3 m³/m² hora. Si no se

tiene algún equipo adicional, la velocidad será de $0.1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ hora. Para el proceso, durante el 90 % del tiempo, los límites del agua cruda a tratar deben ser: una turbiedad de agua cruda menor ó igual a los 50 UTN (unidades de turbiedad nefelométricas) puesto que mayor turbiedad puede causar enlodamiento en la superficie lo que reduce la capacidad biológica de remoción; un color del agua cruda menor ó igual a los 50 UC (Unidades de color).⁶

El lecho de soporte está formado por capas de distintos tipos y espesores de acuerdo al tamaño de las partículas: la capa superior de arena gruesa con espesor de 50 mm., puede tener partículas con diámetro de 1 a 2 mm.; la segunda camada de gravilla fina, con espesor de 50 mm., puede tener partículas con diámetro de 2 a 5 mm.

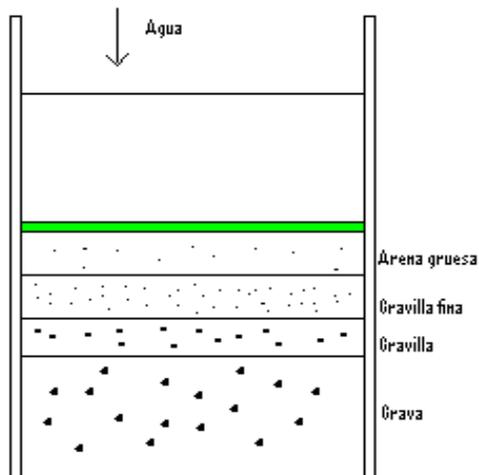


Fig. 5. Capas de un filtrador lento

La tercera de gravilla con espesor de 50 mm., puede tener piedritas de 5 a 10 mm. En la capa inferior de grava con grosor aproximado de 150 mm., se tiene un rango en el diámetro de la piedras de entre 10 y 25 mm.⁶

La profundidad del lecho puede variar entre 0.50 y 1 m. pudiendo el filtro operar con un espesor mínimo de 0.30 m. La altura del agua sobre el lecho filtrante puede variar de entre 1.0 y 1.50 m.⁹ Los filtros lentos pueden ser rectangulares ó circulares y el material puede ser de ferrocemento ó mampostería. El proceso debe mantenerse en operación continua lo que permite que se formen mejor los nutrientes y el oxígeno que mantiene a la capa biológica. Para ello es conveniente tener un tanque de abastecimiento que alimente por gravedad al sistema.

El sistema de filtración se puede ver afectado por distintas condiciones del agua cruda. La primera es la temperatura, debido a que el proceso biológico requiere de una temperatura no menor a los 5 ° C. Otra es la concentración de nutrientes, que es de la que depende la formación de la película de microorganismos. La concentración de algas, que son las principales constituyentes de la “piel de filtro” pero que su excesivo crecimiento puede afectar la eficiencia del tratamiento. Por último, las altas concentraciones de turbiedad ya que los filtros tienen muy poca capacidad para reducirla.

Para el mantenimiento, cuando la altura del lecho llega a 0.3 m ó si el agua rebosa, se realiza un raspado en la superficie del medio filtrante y después el proceso de re arenado, en donde se toma la arena del fondo para colocarla sobre la nueva capa de arena, lo cual ayudará a acelerar el proceso de maduración del lecho de arena. El lavado se realiza al menos cada cinco años en donde se sacan cuidadosamente la arena y la grava; se lava la arena y las paredes del filtro; se reacomoda el drenaje y vuelve a acomodarse el lecho de arena y grava nuevamente.

Los costos dependen del material de construcción como el cemento, grava, tuberías, así como de las dimensiones del filtro.

II.1.3 Ebullición

Se trata del simple proceso de hervir vigorosamente el agua durante un minuto a nivel del mar. Debe agregarse un minuto de ebullición por cada aumento de 1000 metros de altitud. Es seguro y mata cualquier microorganismo presente en el agua que pueda causar enfermedades.

II.1.4 Radiación Ultravioleta

Este método se usa mayormente en sistemas de abastecimiento pequeños como en hospitales, hoteles y plantas purificadoras. La radiación ultravioleta (UV) tiene un rango de longitud de onda germicida de entre 240 y 280 nm que tiene su máximo efecto germicida cerca de los 260 nm. Esta luz es absorbida por el agua como por los sólidos flotantes ó turbiedad. El agua debe tener la menor turbiedad posible. La concentración de sólidos suspendidos y la turbiedad no deben rebasar 10 ppm y 5 UTN respectivamente.

La radiación debe estar lo más cerca posible al agua pues mientras más cerca esté, mejor será la desinfección. Para el mismo fin, la profundidad del agua no debe rebasar los 7.5 cm. La dosificación de luz ultravioleta requerida para destruir los microorganismos más comunes, varía entre 6.000 y 10.000 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ (microvatio * segundo / centímetro cuadrado). El tiempo de exposición a la radiación varía de acuerdo al tipo de microorganismo patógeno. En la mayoría de los equipos se usa una exposición mínima de 30.000 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ para inactivar bacterias y otros patógenos, y el tiempo de exposición más común va de 10 a 20 segundos.

El funcionamiento es muy sencillo y se basa solamente en poner en contacto el agua con una lámpara ultravioleta de modo que su radiación ejerza su efecto germicida sobre los microorganismos. Las lámparas usadas en este método son unas lámparas de vapor de mercurio de alta ó baja presión, parecidas a las lámparas fluorescentes y pueden conseguirse en tiendas comerciales excepto si son de gran tamaño. Las más usadas son las de baja presión ya que su longitud de onda es cercana a los 254 nm.

El mecanismo está basado en que las ondas cortas de la radiación son las que ejercen el efecto germicida sobre el material genético, ADN (Ácido desoxirribonucleico), de los virus y microorganismos destruyéndolos sin que se generen cambios físicos o químicos en el agua tratada, por lo que no se conocen

efectos adversos en la salud de las personas que consuman agua desinfectada con radiación UV. Cuando la energía ultravioleta es absorbida por el mecanismo reproductor de las bacterias y virus, el material genético ADN / ARN (Ácido ribonucleico) es modificado, de manera que no pueden reproducirse.¹⁰ El consumo de energía varía dependiendo de la calidad del agua a tratar, un consumo promedio es de 22 vatios/hora por cada metro cúbico de agua a tratar. La vida útil de estas lámparas es de aproximadamente nueve meses de trabajo continuo, es decir que se cambian cuando han perdido entre el 25 y 30 % de su radiación inicial.

El funcionamiento de la lámpara ultravioleta es el siguiente: dentro de la lámpara, que es un tubo hecho de cuarzo o sílice, un arco eléctrico se descarga a través de una mezcla de vapor de mercurio y argón que hay en el interior. Cuando la corriente eléctrica circula por la mezcla, las moléculas del mercurio se excitan y cuando los electrones de las órbitas externas descienden a órbitas de menor nivel energético, emiten la energía sobrante en forma de radiación ultravioleta. El argón no participa, ya que su función es sólo ayudar a arrancar la lámpara, extender la vida del electrodo y reducir las pérdidas.⁶

Hay dos tipos básicos de cámaras de exposición del agua a la radiación ultravioleta. Aquellas en las que las lámparas están sumergidas en el agua y las que están fuera del agua. En las unidades de luz ultravioleta de lámparas sumergidas, se debe proveer un espacio aislado donde se ubica la lámpara, lo que se logra rodeando la misma con una camisa de cuarzo que es un material transparente a los rayos. Sólo el cuarzo presenta esa característica, y de los plásticos sólo el teflón (PTFE) es parcialmente transmisible. En el segundo tipo, las lámparas están suspendidas sobre el agua que se está tratando, en forma casi rasante con el agua.⁶

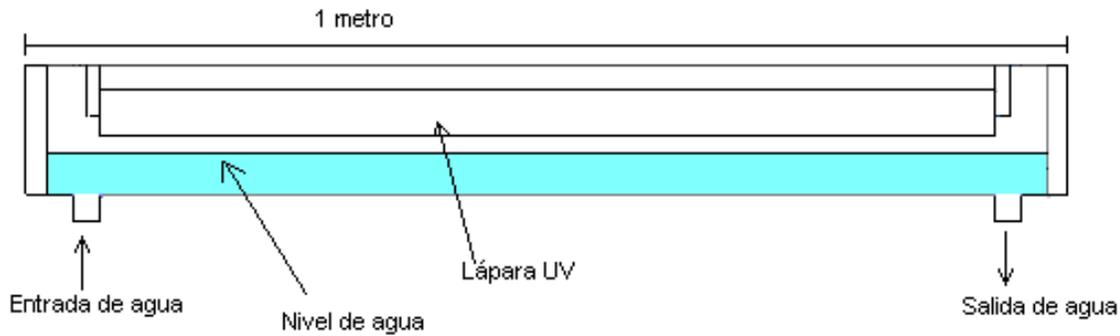


Fig. 6. Diagrama de una lámpara suspendida de rayos UV.

Los equipos modernos de radiación UV pueden tener una cámara de exposición de material anticorrosivo, lámpara ultravioleta, limpiadores mecánicos o cualquier mecanismo de auto limpieza, sensores conectados a sistemas de alarma para el monitoreo de la intensidad de la luz UV, interruptor de velocidad, monitores de lámpara apagada y balastos eléctricos. En general el espacio requerido para el equipo es realmente pequeño. Para su instalación es necesario tener las lámparas dentro de un protector encamisado hecho de cuarzo. Como requerimiento es indispensable la energía eléctrica por lo que se requiere de una fuente de energía totalmente fiable que asegure la continuidad del proceso de desinfección.

Para su operación es necesario revisar que las camisas protectoras de cuarzo estén libres de cualquier sedimento que pueda afectar en la radiación. Esta limpieza puede ser manual y realizarse mínimo una vez al mes, y antes de poner a operar al equipo es necesario desinfectarlo con algún producto químico. Igualmente se deben dejar calentar las lámparas al menos cinco minutos antes de realizar la operación. La tabla 3 muestra algunas dosis de radiación usadas para eliminar ciertos organismos patógenos:

Tabla 3. Dosis de radiación UV en la eliminación de microorganismos patógenos ¹¹

MICROORGANISMO	RADIACIÓN DE ENERGÍA UV
<i>Escherichia coli</i>	7,000 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$
Virus de la influenza	6, 600 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$
Virus de la hepatitis	8,000 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$
Poliovirus (Poliomyelitis)	2,100 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$
<i>Salmonella typhi</i> (fiebre tifoidea)	6,000 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$
Rotavirus	24.000 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$
<i>Vibrio cholerae</i>	6.500 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$

Para el monitoreo de la eficiencia del proceso se realizan muestreos y análisis microbiológicos que determinan el contenido de microorganismos presentes en el agua. También se deben tener monitores de los sensores UV para indicar los niveles requeridos de radiación para la desinfección. Si se tratan flujos variables de agua, se requerirá de sensores para poder apagar y prender las lámparas, así como un sensor que pueda cortar el flujo del agua en caso de que el sistema no pueda producir la radiación necesaria en la desinfección. Dado que no se agregan productos químicos, este proceso no genera subproductos de desinfección.

Puede purificar hasta 200 litros de agua al día, dependiendo el tamaño del equipo. En cuanto a los costos, éstos pueden llegar hasta medio millón de dólares según lo sencillo o complejo del equipo. En el anexo 1 se muestra un ejemplo.

Recientemente, Ashok J. Gadgil, un físico del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley de California y colegas desarrollaron un dispositivo sencillo que emplea rayos UV para la eliminación de microorganismos patógenos. Tiene un costo aproximado de 300 dólares, pesa solamente 7 kilos, puede desinfectar 57 litros de agua por minuto y requiere únicamente 40 vatios de potencia suministrados por energía solar. Puede ser usado en zonas rurales.¹²

II.1.5 Minifiltración: Ósmosis Inversa

Este proceso de desinfección tiene su funcionamiento bajo un principio físico, en el que opera con membranas especiales. El proceso consiste en hacer pasar el agua usando una presión, a través de las membranas en donde las partículas son retenidas de acuerdo a su tamaño. La minifiltración incluye a la microfiltración, la ultrafiltración, la nanofiltración y la ósmosis inversa, y la diferencia y eficiencia de cada una de ellas depende totalmente del diámetro de los poros de las membranas filtrantes. Si el tamaño del poro es más pequeño, la capacidad de retención de la membrana será mejor. Puesto que no se utiliza ningún compuesto químico, tampoco se genera ningún subproducto.

Tabla 4. Datos de diámetro, presión y sustancias filtradas en la minifiltración.

FILTRO	DIÁMETRO DEL PORO (Micrones, μ)	PRESIÓN (psi)	SUSTANCIAS FILTRADAS
Ósmosis inversa	< 0.001	200 – 1.500	Sales, Radicales libres
Nanofiltración	0.001 – 0.01	70 –250	Azúcares, moléculas
Ultrafiltración	0.01 – 0.1	15 – 200	Coloides, virus
Microfiltración	0.1 – 0.2	10 -50	Bacterias, quistes

El proceso de ósmosis inversa utiliza membranas de poliamida semipermeables que son consideradas como filtros moleculares ya que el tamaño de los poros es extremadamente pequeño. Se le llama ósmosis inversa debido a que el proceso que se realiza es contrario al de la ósmosis natural en el que al poner en contacto dos soluciones de distintas concentraciones de un mismo soluto, se genera un flujo del solvente desde la solución más diluida a la más concentrada de soluto hasta igualar las concentraciones de ambas, lo que se debe a la presión osmótica de la solución más concentrada.

En ósmosis inversa se ejerce una presión mayor contraria a la presión osmótica, y de ese modo al invertirse el fenómeno natural, se llega a la obtención de agua de lo más pura. Es decir que el líquido atraviesa las membranas semipermeables para pasar de un estado de alta a baja concentración de soluto. Estas membranas dejan pasar sólo las moléculas de agua reteniendo sólidos disueltos, sales, materia coloidal, virus y bacterias.

El proceso libera hasta un 95 – 99 % de los sólidos disueltos totales, sales, metales pesados, y el 99 % de todas las bacterias.¹³

En el proceso se desperdicia mucha agua ya que del total a tratar, aproximadamente un 50 % es rechazada, es decir que sólo el 50 % sale como agua de alta calidad. La otra parte rechazada que contiene las impurezas es drenada continuamente.

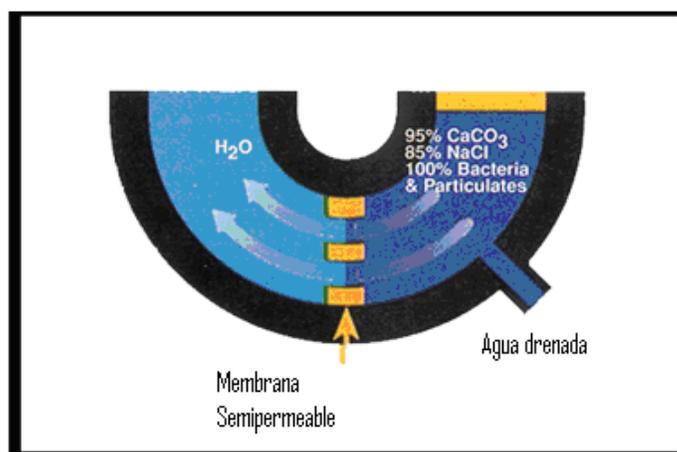


Fig. 7 Esquema del proceso purificación en una membrana de ósmosis inversa.

El equipo utiliza un conjunto de dispositivos filtrantes, cuya estructura puede ser tanto pequeña y simple como compleja. Para su instalación es necesario personal capacitado y para su operación es necesaria la energía eléctrica por lo que se recomienda estar bajo techo. Los equipos usados utilizan membranas que son fabricadas con acetatos y celulosa. Las membranas usadas dependerán de la calidad del agua a tratar, por ejemplo según el pH de ésta, será el material de la

membrana. Por ello, también se han creado membranas poliméricas y de cerámica que no están limitadas al pH del agua y pueden soportar temperaturas hasta de 110° C. Su duración varía entre 1 a 3 años dependiendo del agua a tratar.

Debido a la fineza del proceso, el agua a tratar debe contener la más baja concentración posible de materia orgánica y de bacterias para prevenir la obstrucción de las membranas, por lo que muchas veces es necesario dar un pre-tratamiento al agua para reducir las concentraciones.

Para la operación, siempre debe tenerse un control en la presión puesto que presiones muy elevadas disminuyen la capacidad de filtración; en el monitoreo se realizan pruebas en el agua tratada y no tratada tomando como parámetros la cantidad de sólidos en suspensión y en solución, y el porcentaje de remoción de microorganismos.

Los costos del proceso son altos y pueden llegar hasta los 1000 dólares. Dado que en el proceso no se genera residual alguno, es necesario usarse un desinfectante secundario. Existen diversos equipos con distintas capacidades de producción y precios. Para ejemplo ver anexo 2.

II.2 Procesos Químicos de Desinfección

II.2.1 Cloro y sus Derivados

La efectividad del cloro resulta de su alta capacidad oxidante, que es el mecanismo de destrucción de la materia orgánica, y de su efecto residual que resulta muy beneficioso, tanto en pequeños como en grandes sistemas.

Para desinfectar el agua con cloro puede usarse: cloro gaseoso, cal clorada, hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio y dióxido de cloro. Las dosis a aplicar en cada una de la formas del cloro dependen siempre de la calidad química y

microbiológica del agua. Una forma de definir la cantidad del producto a usar, es aplicando cantidades crecientes del producto en muestras de agua hasta obtener luego de 30 minutos la concentración de cloro residual libre requerida. La OMS recomienda una cantidad de cloro residual libre de 0.5 mg/l.

II.2.1.1 Cloro gas

El cloro gas, Cl₂, de nombre común cloro licuado ó cloro gaseoso tiene un 99.5 % de cloro activo y su estabilidad en el tiempo es muy buena. Es un gas altamente tóxico y puede encontrarse en cilindros de 40 a 70 kg., ó en recipientes de 1 a 5 toneladas.

El uso del cloro gas sólo es recomendable para poblaciones con más de 5.000 habitantes. Para su uso es importante saber que se requiere de personal capacitado y de medios técnicos ya que el gas cloro es sumamente peligroso.

La mejor forma de determinar la tasa de cloro gas necesaria es aplicando la siguiente fórmula en relación al peso del cloro gas por lo que deben usarse balanzas.

Una vez definida la dosis que debe tener el agua, se aplica:

$$M = D * Q$$

Donde M (g Cl/hora) = Cantidad del cloro a dosificar

D (g Cl /m³) = Dosis del cloro

Q (m³/h) = Caudal del agua a tratar

La aplicación del cloro gas también puede realizarse directamente con un dosificador que es lo más usual.

II.2.1.2 Cal clorada

La cal clorada, $\text{CaO} \cdot 2\text{Ca}(\text{OCl})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, polvo blanqueador, hipoclorito de cal ó cloruro de cal es un polvo blanco amarillento y seco con un porcentaje de 15 a 35 % de cloro activo. Es una combinación suelta de cal apagada y gas de cloro. Se deteriora rápidamente cuando se expone a temperaturas altas, humedad y/o luz solar; es un producto corrosivo. Cuando está fresca, la cal clorada tiene un contenido de cloro de 33 a 37 %. Se les puede conseguir en latas de 1.5 kg, tambores de 45 - 135 kg, bolsas plásticas o de papel de 25 – 40 kg.

II.2.1.3 Hipoclorito de sodio

El hipoclorito de sodio NaClO , blanqueador líquido, lejía, agua lavandina ó agua sanitaria viene como una solución líquida amarillenta corrosiva conteniendo de 1 a 15% como máximo de cloro activo, la concentración más común es de 10 %. Tiene una baja estabilidad en el tiempo pues sus pérdidas son del 2 al 4 % al mes. Su presentación puede ser en envases de vidrio ó plástico de diferentes tamaños.

Para cantidades pequeñas de agua a clorar y en casos de emergencia se recomienda buscar en la etiqueta del producto el porcentaje de cloro que tiene y aplicar lo siguiente:

Tabla 5. Dosis de hipoclorito de sodio a aplicar

Contenido de Cloro	Gotas por litro de agua limpia
1%	10
4-6%	2
7-10%	1

En caso de no tenerse la concentración del cloro deben añadirse diez gotas por litro de agua. Al cabo de 30 minutos el agua debe tener un leve olor a cloro, en caso contrario repetir la dosis y dejar reposar por 15 minutos.¹⁴

Para cantidades mayores de agua se usan dosificadores que se manejan con disoluciones. En este caso, si se quiere saber el volumen de disolución, una vez definida la concentración final de la solución de cloro (definida por el dosificador a usar) se aplica la siguiente fórmula:

$$Vd = (Co.Vo/ Cf) - Vo$$

En donde Co es la concentración inicial de la solución matriz (g/L), Vo es el volumen de la solución matriz (L), y Cf es la concentración esperada de la solución diluida (g/L).

II.2.1.4 Hipoclorito de calcio

De nombre común HTH ó perclorón, el hipoclorito de calcio $Ca(ClO)_2$ viene como polvo, gránulos ó tabletas de color blanco. Como polvo tiene del 20 al 35 % de cloro activo; como gránulos y como tabletas del 65 al 70 %. La presentación más común es con 60 %. Es de buena estabilidad en el tiempo pero es corrosivo e inflamable si entra en contacto con materiales ácidos. Su presentación puede ser en latas de 1.5 Kg., o en tambos de entre 45 y 135 Kg.

Una forma de dosificar para cantidades de agua pequeñas, es disolviendo 7 gramos ó ¼ de onza por cada dos galones de agua lo que resulta en una solución de aproximadamente 500 mg/l. Entonces para desinfectar se añade una parte de la solución de cloro por cada 100 de agua a tratar.

Para cantidades mayores, se usan dosificadores que manejan diluciones. La cantidad de agua para obtener la dilución se obtiene por la siguiente fórmula:

$$Vd = \% \times P / Cf$$

En donde % es el porcentaje de cloro activo del producto, P es el peso del sólido a diluir (Kg.), y Cf es la concentración esperada en la solución (Kg. /L), definida por el dosificador.

Debe asegurarse una buena disolución del producto y para ello puede emplearse un agitador eléctrico. También es necesario contar con un filtro debido a las impurezas ó partículas que pueda haber durante el proceso.

Otro factor importante es la turbiedad, ya que ésta absorbe al cloro y reduce la efectividad, además de que cubren a los microorganismos del efecto germicida. Se considera una turbiedad ideal menor de 1 UTN.

El cloro, ya sea en forma de gas, líquido ó sólido, se hidroliza cuando entra en contacto con el agua y se forma ácido hipocloroso, que es el agente desinfectante. El ácido hipocloroso (HOCl) se disocia en iones hidrógeno (H)⁺ e hipoclorito (OCl)⁻ y entonces adquiere sus propiedades oxidantes pues inhiben la actividad enzimática de virus y bacterias, lo que las deja inactivas. El agua debe mantenerse a un pH de entre 6 y 9 para que el ácido hipocloroso y el ion hipoclorito estén presentes. La OMS recomienda un pH de 8.

El procedimiento de calibración varía según el dosificador que a la vez depende del caudal a tratar. Los dosificadores existentes se clasifican en cloradores para gas, dosificador mecánico y bombas dosificadoras para solución líquida. Los costos varían de acuerdo al tipo y cantidad de químico a usar así como del tamaño y la complejidad del equipo. Para ejemplo ver anexo 3.

II.2.1.5 Dióxido de cloro

El dióxido de cloro es un gas de color verde amarillento, estable, soluble en agua y usado principalmente para la eliminación de olor y sabor, ya que reacciona en el agua con compuestos fenólicos, sustancias húmicas, sustancias orgánicas e iones metálicos.

Es un biocida eficaz en concentraciones de hasta 0,1 ppm y a lo largo de un amplio rango de pH, de 3 a 10 (más eficiente de 4 a 9). El ClO_2 atraviesa la pared de la célula de la bacteria y reacciona con aminoácidos vitales en el citoplasma de la célula para matar al organismo. Esto significa que el dióxido de cloro mata microorganismos por la interrupción del transporte de nutrientes a través de la membrana celular y no por interrupción del proceso metabólico. En el caso de los virus, penetra en la capa proteica de la cápside vírica y reacciona con el ARN vírico, lo que daña la capacidad genética. En el agua, el dióxido de cloro rápidamente forma clorito y destruye enterovirus, *E. coli* y amebas y es efectivo contra los quistes de *Cryptosporidium*.

El ClO_2 no puede comprimirse ni almacenarse en cilindros como el cloro gaseoso debido a su inestabilidad, por lo que es generado in situ. Puede producirse de tres formas: reaccionando clorito de sodio con cloro gaseoso, reaccionando el clorito de sodio con hipoclorito de sodio y ácido sulfúrico, ó puede ser producido reaccionando clorito de sodio y ácido clorhídrico.

Para producir 1,000 g de ClO_2 , se requieren, teóricamente, 1,240 g de NaClO_2 y 555 g de Cl_2 , ó también 1,676 g de NaClO_2 y 540 g de HCl .¹⁵

El equipo de un generador de ClO_2 consta de bombas, caudalímetros, mezcladores, inyectoros, etc. y requiere de personal técnico capacitado para su operación. Los generadores de dióxido de cloro pueden funcionar sistemáticamente si son operados adecuadamente. Su eficiencia está en función de la conversión de clorito de sodio en dióxido de cloro, y en la generación de subproductos como ion clorato, cloro libre y clorito sobrante. La figura 8 muestra el esquema de un generador digital de dióxido de cloro.

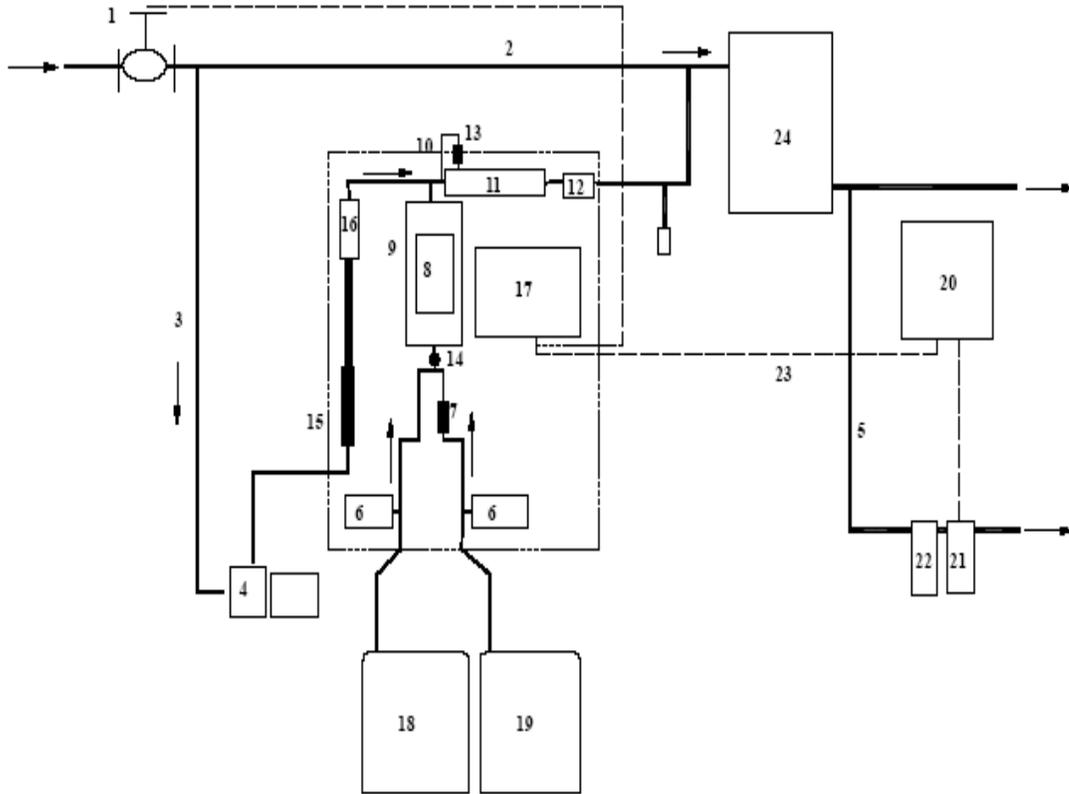


Fig. 8.- Componentes de un equipo digital generador de ClO_2 :

1.Ingreso del agua, 2.Tubería principal, 3.Derivación para el sistema de desinfección, 4.Bomba de refuerzo, 5.Sensor de flujo, 6.Bombas dosificadoras, 7.Sensor de flujo, 8.Reactor, 9.Soporte del reactor, 10.Válvula dosificadora, 11.Mezclador, 12.Válvula de retención, 13.Válvula de ventilación, 14.Dispositivo de succión, 15.Esqueleto de sostén del equipo, 16.Válvula anti-retorno, 17.Dispositivo de control del nivel de producción, 18.Envase de seguridad de ácido, 19.Envase de seguridad de clorito, 20.Medidor de dióxido de cloro suministrado, 21.Probeta de dióxido de cloro, 22.Controlador de nivel de agua, 23.Conector, 24.Cámara de contacto, de 10 a 15 min.⁶

Estos equipos pueden generar de 30 a 4,000 g/h de dióxido de cloro, lo que permite tratar caudales de 20 l/s a 2.5 m³/s para una dosis de 0.5 mg/l en el agua.

Debido a que el ClO_2 es altamente corrosivo en solución acuosa, se recomienda usar material como PVC y polietileno para las líneas de conducción. Para la instalación del equipo, el almacenamiento del clorito de sodio deberá realizarse aparte de todo el equipo y con un material no combustible como concreto o ladrillo. En general para el funcionamiento del equipo se requiere de energía eléctrica, personal capacitado y de sustancias químicas necesarias según el tipo de equipo. Existe gran variedad de equipos cuyo costo varía mucho según las características del agua cruda, la capacidad del equipo, las condiciones del lugar de instalación, etc.

II.2.1.6 Punto de quiebre

La siguiente curva es de suma importancia para predecir cuánto de cloro se requerirá para la desinfección en un período específico, y para prever qué subproductos se pueden formar.

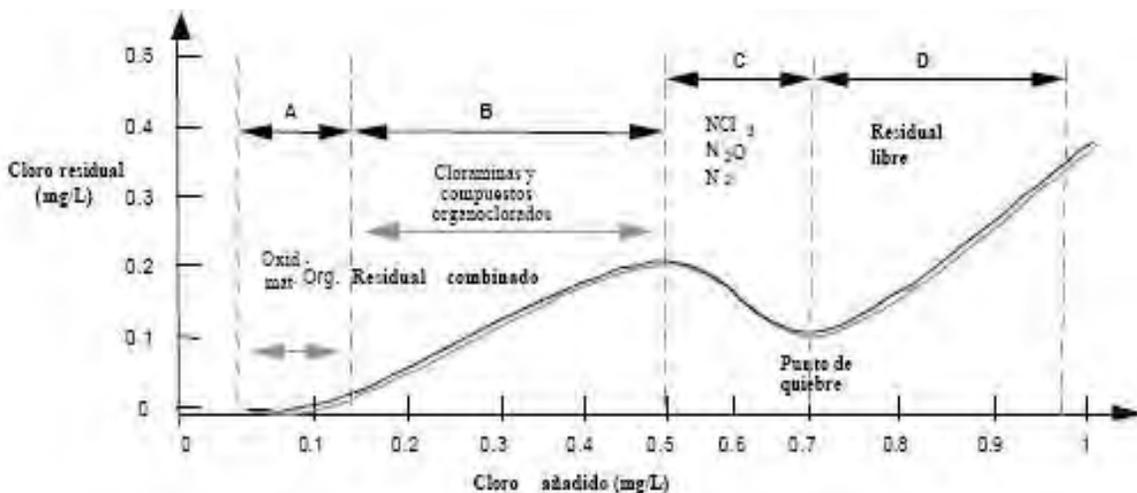


Fig. 9. Curva del punto de quiebre.

Los derivados del cloro reaccionan en el agua con varias sustancias orgánicas reductoras consumiendo así el cloro residual, (A). De estas reacciones se generan productos que no tienen propiedades desinfectantes y otras que sí (cloraminas),

que se consideran como cloro residual combinado (B). La representación gráfica se denomina “curva del punto de quiebre” y muestra la variación de la concentración y del tipo de cloro residual (libre o combinado) cuando reacciona con amoniaco y otros compuestos orgánicos. Esta curva tiene una cresta y un punto de retorno (C); la parte superior de la cresta indica el punto donde los residuales combinados comienzan a cambiar de las monocloraminas a las dicloraminas. El punto de retorno ó de quiebre indica un consumo neto del cloro hasta que parte de las cloraminas desaparece consumiendo cloro; también indica donde el cloro libre y posiblemente los trihalometanos comienzan a aparecer en el residual. Todo el cloro que se utilizó para llegar a este punto es la Demanda de Cloro. A partir del punto de quiebre (D), el cloro que se agregue va a estar disponible como cloro desinfectante y se denomina cloro disponible residual o cloro residual libre. Es éste el cloro que las normas mencionan debe tener ciertos valores (entre 0.2 y 1.5 ppm. de acuerdo con la NOM-127-SSA1-1994). Si se pasa de ahí, el agua empieza a tener un sabor desagradable característico del cloro.

II.2.2 Ozono

El ozono (O_3) es un gas cuya molécula está formada por tres átomos de oxígeno con peso molecular de 48. Se origina in situ mediante descarga eléctrica del aire; con un alto voltaje se convierte parte del oxígeno a ozono. A temperatura y presión ambiente es un gas inestable, por lo tanto, tras un tiempo relativamente corto, el ozono se transforma de nuevo en oxígeno renovándose de nuevo al ambiente del que proviene. Dada esta última característica, el proceso no produce efecto residual que asegure la calidad del agua durante su distribución. Tiene un elevado potencial oxidante protoplasmático que además de eliminar los compuestos orgánicos causantes del mal olor, color y sabor, destruye a los organismos patógenos como bacterias, virus, esporas y quistes resistentes de bacterias y hongos.

El método de ozonización consiste en agregar cantidades suficientes de ozono de modo que quede residuo del mismo y se asegure la destrucción de los patógenos; este residuo debe ir generalmente entre 0.4 y 0.5 ppm después de 10 a 20 minutos de contacto con el agua. Normalmente se recomienda agregar un desinfectante secundario como cloro. Su eficacia depende de la concentración, del tiempo de exposición, de la temperatura y de la materia orgánica contenida en el agua.¹⁶

El ozono es el desinfectante más potente que se conoce. Con un potencial de oxidación de 2,07 voltios, el ozono teóricamente puede oxidar la mayoría de los compuestos orgánicos y los convierte en dióxido de carbono y agua. Su capacidad desinfectante se basa igualmente en su potencial oxidante, produciendo una intoxicación intracelular que conduce a la muerte de los microorganismos. Debido a que la eficacia del método depende del contacto del ozono con los microorganismos, es necesario contar con un sistema de mezcla que asegure el contacto.

El equipo para el proceso consta de cinco unidades:

1.- La unidad de preparación de gas (aire u oxígeno puro): La preparación consiste en el secado y enfriamiento del aire u oxígeno para ser usado como fuente de oxígeno en la generación del ozono. El secado sirve para reducir la formación de óxidos de nitrógeno, y el enfriado es necesario ya que el ozono se convierte nuevamente en oxígeno a temperaturas mayores de 30 ° C.

2.- El generador de ozono: Consiste en un tubo dieléctrico por el que se hace pasar el oxígeno o aire seco al mismo tiempo que se realiza una descarga eléctrica constante llamada efecto corona. Se aplica un voltaje alto (8000-20000 voltios) a dos electrodos y este voltaje produce un arco. En el arco parte del oxígeno O_2 se transforma en ozono O_3 .

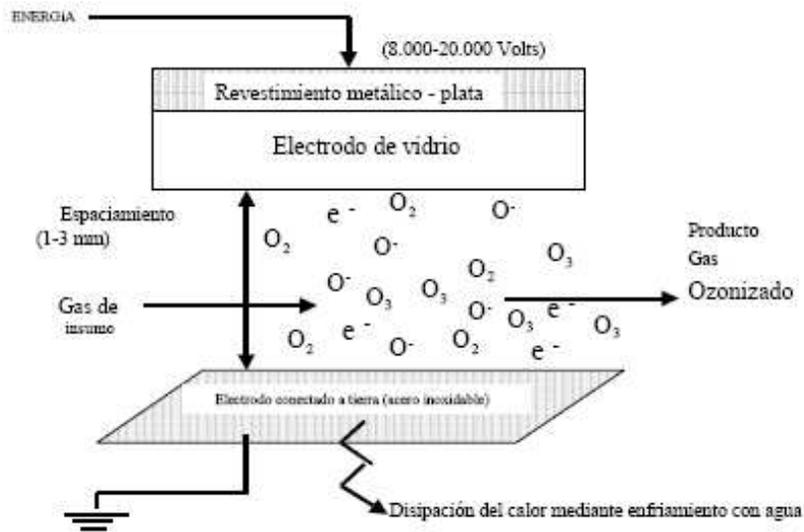


Figura 10. Generador dieléctrico de ozono ¹⁷

3.- La fuente de energía eléctrica: Ésta es la que proporciona energía al generador de ozono. Las fuentes de energía más comunes son las de baja frecuencia (de 50 a 60 Hz.) y de alta tensión (> 20.000 voltios).

4.- El contactor:

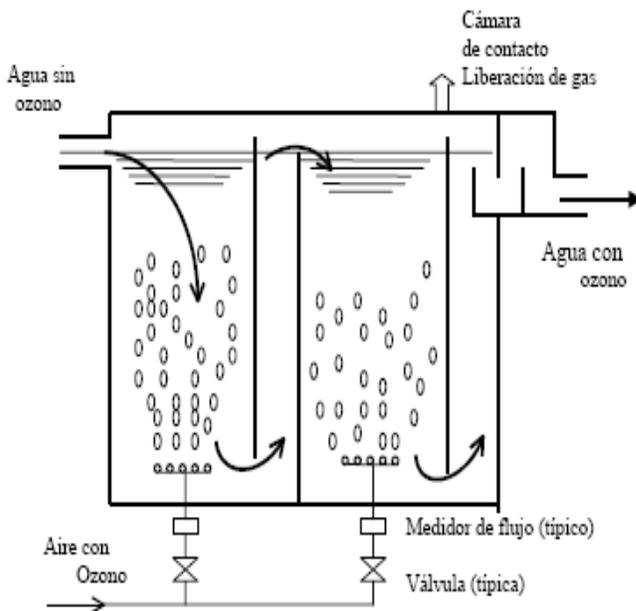


Fig. 11. Cámara con deflectores ¹⁷

Esta unidad se utiliza para poner en contacto el ozono con el agua a desinfectar. Hay dos diseños básicos del contactor: el de cámaras con difusores de burbujas y el reactor agitado por turbina. En el primero las cámaras pueden estar en serie y separadas con deflectores o tabiques o en forma paralela; éste es el más eficiente. Cuando se genera el ozono, éste se dispersa en

pequeñas burbujas en el agua para realizar la oxidación y desinfección. En el segundo se usan mezcladores ó turbinas para la buena solución del ozono en el agua. En ambos diseños se emplea el flujo a contracorriente.

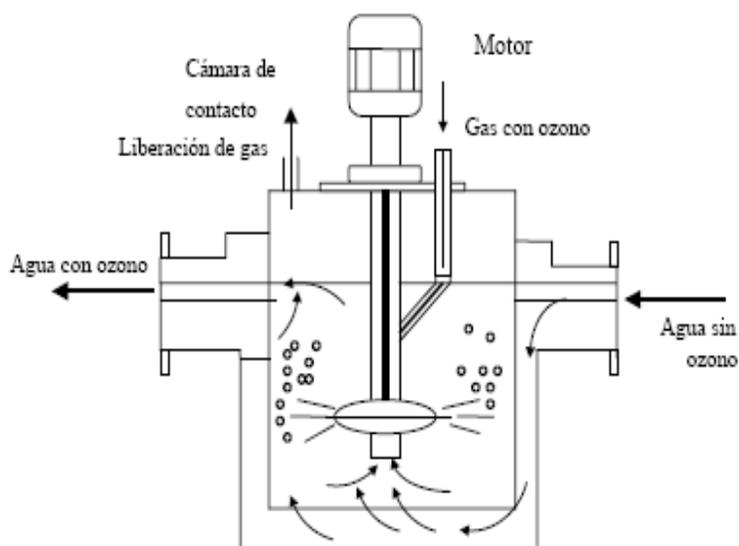


Fig. 12. Difusor de turbina ¹⁷

5.- La unidad para la eliminación del gas sobrante: aunque el gas sobrante de ozono que escapa durante el proceso se hace recircular para aprovecharlo al máximo, generalmente siempre quedará ozono que debe ser destruido. Se puede diluir el ozono en aire ó puede destruirse por descomposición térmica, por descomposición catalítica en donde se pasa a través de metales u óxidos de metal, o por absorción en carbón activado granular húmedo.

La energía total requerida, va de 25 a 30 kilovatios * hora de electricidad por kilogramo de ozono generado. El sistema puede construirse con ladrillo o algún material resistente a la corrosión y requiere de aproximadamente 20 m² de área; debe mantenerse aireado y las tuberías para el ozono deben ser de acero inoxidable. Es necesario que para su operación y mantenimiento los elementos del sistema se ajusten y calibren continuamente.

La desinfección más eficiente se logra con 0.4 mg/l sostenido por 4 minutos; es decir una CT (Concentración en mg/l por Tiempo en minutos) de 1.6. ¹⁸

Existe en el mercado gran variedad de equipos y precios. Para ejemplo ver anexo 4.

CAPITULO III.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PROCESOS DE DESINFECCIÓN

III.1 Procesos Físicos

III.1.1 Desinfección Solar

Dentro de sus ventajas están: que no requieren de energía eléctrica ni de combustión de leña por lo que son aptos para las comunidades rurales. Sus equipos son relativamente sencillos y de bajo costo; su uso no deteriora el ambiente ni daña a la salud. Como desventajas puede decirse que no pueden usarse en días nublados, sólo pueden generarse pequeñas cantidades de agua y no proporcionan protección residual.

III.1.2 Filtración lenta

La primera ventaja es que el sistema es muy sencillo, fácil y confiable de operar. No se producen cambios organolépticos en el agua y puede ser usado en países en vías de desarrollo ó en lugares con pocos recursos. Una de sus desventajas es que debido a que en el sistema se realiza un proceso microbiológico, su eficiencia disminuye con las bajas temperaturas. Igualmente, la presencia de biocidas en el agua a tratar puede perjudicar el proceso biológico, que es la base de la filtración lenta. Si el sistema no tiene un pre-tratamiento, el agua cruda no debe rebasar los 20 ó 30 UTN de turbiedad. Su eficiencia se ve reducida a temperaturas inferiores a los 4 ° C.

III.1.3 Radiación Ultravioleta

El tiempo de exposición a la radiación es muy corto comparado con otros desinfectantes y la sobredosis a la radiación no genera algún efecto nocivo. Su gran ventaja es su eficacia para eliminar gran variedad de organismos. Sus costos

de operación son bajos y el único tratamiento previo que pudiera ser necesario es el de filtración para eliminar la turbiedad. El proceso puede hacerse con grandes equipos o hasta a nivel familiar y ser realizado por personal no calificado. Debido a que no es necesario agregar ninguna sustancia en este método, no se generan subproductos que puedan dañar la salud, como el cloro por ejemplo.

Debido a lo anterior, tampoco se genera ningún residual, lo que es una gran desventaja ya que entonces casi siempre es necesario agregar un desinfectante químico después del tratamiento para mayor seguridad durante su recorrido de distribución. Únicamente si el agua es confiable, si no hay riesgo de contaminación posterior al tratamiento, y si su turbiedad es menor a 1 UTN, entonces no es necesario aplicar un desinfectante secundario. El agua debe estar muy transparente, si la turbiedad no es bien tratada, puede disminuir el efecto cuando los organismos se protegen con ella de los efectos de la radiación. La eficiencia del proceso se mide con análisis microbiológicos, lo que puede resultar difícil en zonas rurales. Se destruyen gérmenes patógenos, pero no se elimina la materia orgánica de la cual están formados ya que no se dispone de un agente oxidante. El proceso en general es más costoso que otros métodos de desinfección y es necesaria la energía eléctrica.

III.1.4 Minifiltración: Osmosis inversa

El proceso es simple y puede operarse automáticamente pues requiere de energía eléctrica; sólo si es necesario requerirá de personal capacitado. Tiene costos de operación relativamente bajos, permite mediciones controladas, reduce el color al eliminar los compuestos orgánicos, no utiliza compuestos químicos y reduce la generación de precursores de trihalometanos. Como desventajas, se generan incrustaciones que pueden contaminar los materiales del equipo que a la vez disminuyen la eficiencia del proceso. Se pierde mucha agua y los costos de inversión son mucho más altos que en los procesos comunes de desinfección.

III.1.5 Ebullición

La ventaja es que es una forma muy eficaz de eliminar los organismos patógenos y puede usarse en zonas rurales. Su gran desventaja es que se requiere de costos de gas ó combustible para hervir el agua, lo que se traduce en una inconveniencia para desinfectar grandes cantidades de agua.

III.2 Procesos Químicos

III.2.1 Cloro y derivados

La capacidad que tienen para destruir patógenos con bastante rapidez y su amplia disponibilidad los hacen muy adecuados para la desinfección. Su costo es moderado por lo que son muy usados como desinfectantes en todo el mundo. Debido a sus propiedades residuales muestran persistencia durante el proceso de distribución luego de haber sido tratada el agua. Son económicos, fáciles de conseguir y el equipo necesario para la dosificación es sencillo y seguro.

Su desventaja es que, a excepción del dióxido de cloro, se generan moléculas organocloradas, (trihalometanos) relacionadas con el origen del cáncer aunque aún no ha sido posible asegurar por completo si su consumo genera efectos nocivos a la salud. Otros subproductos que se generan son las cloraminas, dicloraminas y tricloraminas que también actúan como desinfectantes.

III.2.1.1 Dióxido de Cloro

Requiere de poco tiempo de contacto y tiene buena solubilidad, es por lo menos tan eficaz como el cloro pero en concentraciones más bajas, y es mejor para el tratamiento de esporas. Es efectivo contra muchos microorganismos y su gran poder de oxidación ayuda a remover el olor, color y el mal sabor y no produce trihalometanos. No perjudica el medio ambiente pues se degrada rápidamente.

Como desventaja, el ClO_2 casi no genera residual, por lo que suele emplearse al cloro como desinfectante secundario. Es más caro que el cloro, con costos relativamente elevados. Debe producirse in situ por lo que su producción y manejo representan complejidad y riesgos. Todo ello implica su dificultad para usarlo en zonas rurales. El proceso de reacción del ClO_2 con material orgánico genera algunos subproductos como clorofenoles, ácidos maleicos, fumáricos y oxálicos. Los subproductos más importantes formados son el clorito y los cloratos.

III.2.2 Ozono

Dentro de sus ventajas está el que además de ser el desinfectante más potente que se utiliza, sus tiempos de contacto y concentraciones para matar microorganismos son mucho más bajos que los de otros desinfectantes. Además el ozono es usado no sólo para desinfectar sino para otros fines como eliminar fenoles y descomponer sustancias orgánicas sintéticas, por lo que elimina el mal olor, sabor y color del agua. Si es manejado adecuadamente, no produce subproductos halogenados ni se ve afectado por el pH del agua.

Aunque es muy eficiente, el ozono no genera residual, su vida media es de menos de 30 minutos en el agua por lo cual siempre es necesario agregar otro desinfectante para proteger al agua de una posible infección. A la vez, el que no genere residuos beneficia a que el agua no tenga un mal sabor. Dada esa característica y además de que es caro, el proceso casi no es usado sólo para desinfectar, sino como un tratamiento complementario por su efecto de oxidación. Por su elevado costo y complejidad casi no es usado en zonas rurales. En cuanto a subproductos, el ozono puede producir algunos como los bromatos, bromoformo, ácido bromoacético, aldehídos, cetonas y ácidos carboxílicos; a pesar de ello, estudios actuales consideran a la ozonización como segura para la salud.

III.3 Tabla de comparaciones generales

Desinfectante	Eficacia	Requerimiento de energía / combustible	SPD	Inversión	Costos operacionales	Aplicabilidad	Forma de acción	Complejidad	Disponibilidad
Desinfección solar	+	Ninguno	No	Muy baja a moderada	Ninguno	Familiar ó pequeños grupos.	Pasteurización	Muy baja	De intermedia a alta.
Radiación UV	++	Intermedio	No	Intermedia a alta	De bajo a moderado	Poblaciones pequeñas a muy grandes.	Modificación del ADN de los microorganismos.	Muy baja a nula	Baja, en ciudades con proveedores.
Ósmosis inversa	++	Alto	No	Muy alta	Intermedio	Amplia pero más usada para comunidades pequeñas e intermedias.	Retención de microorganismos por retención mecánica.	Alta	Baja, se adquieren en ciudades con proveedores.
Ebullición	++	Alto en grandes cantidades	No	Alto en grandes cantidades	Alto en grandes cantidades	Familiar	Eliminación de microorganismos por ebullición.	Ninguna	Alta
Cloro y derivados	++	Bajo	Sí	De baja a intermedia según el equipo	De muy bajo a moderado según el equipo	Muy amplia, de medianas a grandes poblaciones.	Oxidación de la materia orgánica.	Intermedia, dependiendo del equipo.	Intermedia a alta
Dióxido de cloro	+++	Alto	Muy pocos	Alta	Alto	Amplia pero más usado en medianos y grandes sistemas.	Oxidación de la materia orgánica.	Alta	Baja, los equipos se obtienen en ciudades con proveedores.
Ozono	++++	Alto	Muy pocos	Alta	Alto	Amplia, más usada en medianos y grandes sistemas.	Oxidación de la materia orgánica.	Alta	Baja, los equipos se obtienen en ciudades con proveedores.
Filtración lenta	+	Ninguno	Algunos	Moderado a intermedio	Prácticamente nulo	Pequeñas a intermedias poblaciones.	Eliminación de microorganismos por la acción de la capa biológica.	Baja	Alta, los materiales se encuentran en cualquier lugar.

SPD: Subproductos de desinfección.

Como puede apreciarse, el ozono es el desinfectante más eficiente además de ser el que menos tiempo de contacto y concentración requiere para la inactivación de los patógenos. El ozono por sí sólo es 3000 veces más rápido y eficaz que el cloro destruyendo virus, bacterias y una serie de organismos cloro-resistentes sin originar subproductos ni olores y sabores extraños en el agua.

El dióxido de cloro tiene menor efecto microbicida que el ozono, pero es un desinfectante más potente que el cloro. En la mayoría de los casos, el tratamiento con dióxido de cloro es más costoso que con cloro, pero a menudo es menos costoso que con ozono. Tanto el cloro como el dióxido de cloro son eficientes desinfectantes, pero en los casos en los que la procedencia del agua potable sean aguas superficiales que contienen materiales orgánicos, el dióxido de cloro puede ser mejor, primero por que éste funciona por una reacción de oxidación y no de cloración, lo cual elimina la formación de componentes orgánicos clorados que son sospechosos de incrementar el riesgo de cáncer. Además, el dióxido de cloro es generado in situ lo que comparado con el cloro representa una ventaja en cuanto al almacenamiento y transporte.

Los costos de inversión de la ósmosis inversa son los más elevados comparados con el resto de los métodos, el motivo es que el proceso en general de minifiltración no sólo es de desinfección, sino que es un proceso de potabilización lo que significa que es mucho más completo.

En cuanto a los métodos de desinfección solar, éstos son los de más bajo costo que el resto de los procesos, por lo que son preferentemente usados en zonas rurales donde no se necesitan requerimientos de energía eléctrica y por su sencillo funcionamiento, además de que están diseñados para producir pequeñas cantidades de agua. Al igual que la desinfección solar, la filtración lenta es usada en zonas rurales o en países en desarrollo ya que es un proceso sencillo, que no requiere de mucho capital y que no necesariamente requiere de energía eléctrica.

CAPÍTULO IV.- DESINFECCIÓN EN AGUA POTABLE Y AGUA PURIFICADA

IV.1 Marco Normativo

Existen diferentes condiciones establecidas por Normas Oficiales Mexicanas que diferencian al agua potable del agua purificada. En nuestro país la Norma Oficial Mexicana, NOM-127-SSA1-1994 "Salud ambiental, Agua para uso y consumo humano - Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización", que define las condiciones que debe tener el agua potable, establece lo siguiente desde el enfoque microbiológico, referente a la desinfección:

Tabla 6. Límites permisibles de coliformes y cloro, establecidos por la NOM-127-SSA1-1994 ¹⁹

CARACTERÍSTICA	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	2 NMP/100 ml. ó 2 UFC/100 ml.
Organismos coliformes fecales	No detectable NMP/100 ml. ó Cero UFC/100 ml.
Cloro residual libre	0.2 -1.5 miligramos/litro

(NMP, Número más probable por 100 mililitros)

(UFC, Unidades Formadoras de colonias por 100 mililitros).

A diferencia del agua potable, el agua purificada para poder ser ingerida debe cumplir con ciertos límites máximos establecidos por la NOM-041-SSA1-1993, "BIENES Y SERVICIOS. AGUA PURIFICADA ENVASADA. ESPECIFICACIONES SANITARIAS". En cuanto a la parte microbiológica esta norma establece lo siguiente:

Tabla 7. Límites permisibles de bacterias y cloro, establecidos por la NOM-041-SSA1-1993²⁰

CARACTERÍSTICA	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Mesofílicos aerobios	100 UFC/ml.
Coliformes totales	No detectable NMP/100 ml.
Coliformes totales	Cero UFC/100 ml.
Vibrio cholerae	Negativo
Cloro residual libre luego de un tiempo mínimo de 30 minutos de contacto	0.10 miligramos/litro

IV.2 Procesos generales de potabilización

La desinfección es un proceso base en cualquier tratamiento de agua. El agua potable puede ser usada en actividades domésticas y para beber puesto que potable significa que puede ser ingerida sin que dañe a la salud, aunque debe mencionarse que siempre es preferible ingerir agua purificada.

El proceso de potabilización abarca en general los procesos de clarificación, filtración y desinfección. Con base en estos tres, existen distintos procesos para potabilizar el agua. A su vez, éstos pueden usarse en la potabilización dependiendo de las características a eliminar conforme a lo establecido en la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994. La tabla 8 muestra los procesos utilizados en potabilización, de acuerdo al contaminante a eliminar:

Tabla 8. Procesos usados en potabilización.

PROCESO	CARACTERÍSTICA A TRATAR
Sedimentación	Sólidos pesados, turbiedad
Filtración	Sólidos, algunos patógenos
Filtro de carbón activado	Mal olor, sabor, sólidos pesados, contaminantes orgánicos como insecticidas, plaguicidas y herbicidas.
Desinfección	Microorganismos patógenos

La clarificación ó sedimentación se refiere al proceso de dejar en reposo al agua para que los sólidos contenidos en ella se separen al irse al fondo del tanque. Este proceso sucede por simple gravedad. La clarificación puede ser simple o secundaria, la simple no emplea ninguna otra sustancia mientras que la secundaria utiliza un coagulante que ayuda a que la materia sólida sedimente.

La filtración se refiere al proceso de hacer pasar el agua a través de un medio poroso para retener en él los sólidos contenidos en el líquido y de ese modo separar un sólido de un líquido.

En cuanto a la desinfección, en potabilización mayormente se hace uso del cloro en sus distintas formas. En el siguiente diagrama se aprecia en qué parte del proceso de potabilización entra la desinfección para una planta de suministro pequeño con agua cruda de buena calidad:

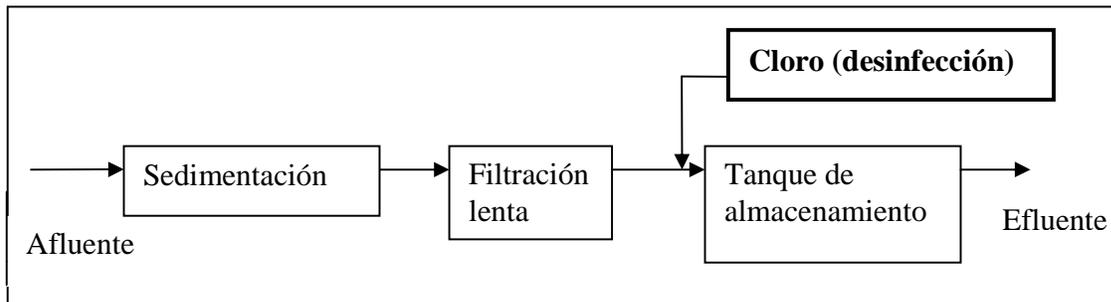


Fig. 13. Proceso de potabilización para una planta de suministro pequeño. ²¹

IV.3 Potabilización en aguas de abastecimiento de Chetumal Q. Roo

De acuerdo a entrevista con Q.F.B. Kennya Ariadne Terrazas Velueta, Analista Profesional (Departamento de Control y Calidad, Comisión de Agua Potable y Alcantarillado, Chetumal Quintana Roo, septiembre de 2007) en Chetumal Q. Roo el proceso de potabilización está limitado sólo al proceso de desinfección ya que aún no se tiene una planta potabilizadora.

El agua utilizada para desinfectar es extraída de una serie de pozos ubicados en la comunidad de González Ortega que se dividen en dos zonas de captación: González Ortega 1 y González Ortega 2.

El agua extraída es conducida por tubería a dos estaciones, Estación Ucum 1 y Estación Ucum 2, ubicadas aproximadamente a 15 Kilómetros del poblado Ucum en donde el agua es desinfectada con cloro gaseoso. Cada estación tiene adentro cuatro tanques de 850 kilogramos que almacenan el cloro gas. Estos tanques están conectados por medio de una manguera a un dosificador que a su vez está conectado a una cisterna a donde llega el agua. El dosificador va regulando la cantidad de cloro gas para el agua de la cisterna. En cada estación se utiliza cloro a razón de entre 20 y 30 Kg. /día.

De acuerdo a entrevista con José Huape López, Jefe del Departamento del Programa de Eficiencia (Comisión de Agua Potable y Alcantarillado, Chetumal Q. Roo, septiembre de 2007) el agua se desinfecta a razón de 627 litros por segundo, lo que significa que se utilizan entre 20 y 30 Kg. de cloro para desinfectar aproximadamente 54,172.8 m³ al día de agua por estación.



Fig. 14.- Dosificadores de cloro gas, Ucum 1 y Ucum 2. (Comisión de Agua Potable y Alcantarillado, Chetumal Q. Roo, septiembre de 2007)

De ahí el agua es conducida a dos tanques de almacenamiento, el cárcamo de bombeo ubicado en el Kilómetro 19, y el tanque de cambio de régimen ubicado en el Kilómetro 21 que es el que suministra a la ciudad de Chetumal, Luís Echeverría, Subteniente López, Calderas y Huay-pix. De ahí, para el suministro de Chetumal, el agua baja por gravedad y es dirigida hacia dos cárcamos de rebombeo: Cárcamo Aeropuerto y Cárcamo Bachilleres. Del Cárcamo Bachilleres el agua es bombeada a otros tres cárcamos, Insurgentes, Solidaridad y Arboledas que suministran agua a las distintas zonas de la ciudad.

De acuerdo a entrevista con el Q.F.B. Luís Villanueva Cruz, Verificador Sanitario (Secretaría de Salud, Chetumal Q. Roo, septiembre de 2007) el agua que sale de la tubería para el uso doméstico tiene una cantidad de cloro que se encuentra en un rango óptimo, entre 1.0 – 1.5 ppm de cloro residual libre. Es decir que en cuanto a desinfección se cumple con la norma vigente.

En cuanto al resto de las comunidades del municipio de Othón P. Blanco, se perforan pozos cercanos a cada comunidad para el suministro de agua y se utiliza hipoclorito de sodio al 13 % para la desinfección, consumiendo aproximadamente entre 50 a 100 litros de hipoclorito de sodio al mes por comunidad, con una producción de alrededor de 5 litros por segundo. Para tal fin se utilizan hipocloradores como se muestra en la figura 15.



Fig. 15.- Hipoclorador usado por CAPA.
(Comisión de Agua Potable y Alcantarillado,
Chetumal Q. Roo, septiembre de 2007)

Lo anterior significa que se consumen aproximadamente entre 1.6 y 3.33 litros de hipoclorito de sodio para producir 432 m^3 de agua al día. Cuando no se cuenta con energía eléctrica, se usan pastillas de hipoclorito de sodio al 65 % de cloro disponible, consumiendo alrededor de 10 a 20 Kilogramos al mes en cada comunidad.

De acuerdo a entrevista con Ing. Dionné Rivas Aboytes, Jefa de Departamento de Control de Calidad de Agua Potable (CAPA, septiembre de 2007), en algunas otras comunidades del municipio como Buena Fe, Blanca Flor, Tierra Negra y La Ceiba, en donde la gente rechaza el uso del cloro como desinfectante, se utiliza plata coloidal. La forma en que se desinfecta es por medio de un tubo de PVC que contiene dentro tres pelotitas de cerámica recubiertas de plata coloidal. Este tubo es introducido al tanque ó cisterna del agua a desinfectar en donde el agua se bombea para provocar que la plata coloidal se vaya desprendiendo poco a poco y lograr así la desinfección del agua.

IV.4 Agua purificada

En agua purificada siempre se busca lograr la mejor calidad de pureza no sólo en las características microbiológicas del agua, sino también en las físicas y químicas. Aunque la norma para agua purificada es más estricta que la de agua potable, en teoría los dos tipos de agua son aptas para beber, pero en cuanto al agua potable debe mencionarse que aunque en lugares en que se tiene un servicio completo de potabilización, muchas veces el agua puede contaminarse por grietas e infiltraciones en las cisternas ó durante su recorrido hacia los domicilios lo cual está ligado a su infección por insectos portadores de bacterias. Debido a ello, el agua usada para beber debe ser preferentemente agua purificada y no potable.

CAPÍTULO V.- DESINFECCIÓN EN UNA PLANTA PURIFICADORA DE AGUA

En agua purificada siempre la mejor opción es combinar algunos de los métodos para complementarlos entre sí, ya que uno por sí solo no es suficientemente eficaz para lograr la calidad adecuada.

V.1 Desinfección en Planta Purificadora Agua Ultrapura San Antonio

A continuación se describe el proceso de purificación de agua en la planta purificadora: Agua Ultrapura San Antonio, de acuerdo con entrevista realizada en septiembre de 2007 al Ing. Víctor Manuel Martínez Lorenzo, Dueño y Operador de la Planta, ubicada en Av. Machuxac No. 59. Col Proterritorio, Chetumal, Quintana Roo.

V.1.1 Materia prima

La materia prima utilizada es agua entubada para uso doméstico del sistema de red de la ciudad de Chetumal que contiene entre 1.0 – 1.5 ppm de cloro residual libre.

V.1.2 Filtración del agua y eliminación de sólidos disueltos

V.1.2.1 Filtrado con arena

Este filtro consta de varias capas de arena sílica que van desde el número 8 al 16 que son los tamaños de los granos de arena que tienen la función de eliminar los sólidos que vienen en el agua pasándola a contra flujo a través de la cámara de arenas. La capacidad de filtración de este filtro es de 48,000 litros por día y una presión mínima de 15 psi y máxima de 60 psi. La presión más usada es a 30 psi. La capacidad de filtración es para retener partículas de hasta 40 micras.



Fig. 16. Filtro de arenas sílicas con un volumen de 3 pies cúbicos. Planta Purificadora San Antonio.

V.1.2.2 Filtrado con carbón activado

Una vez que al agua se le han eliminado los sólidos en suspensión, el agua pasa a través de un filtro de carbón activado con las mismas dimensiones y capacidad que el anterior pero que en su interior contiene carbón de coco triturado que hace la función de filtro adsorbente, teniendo como principal función la eliminación del cloro disuelto en el agua que viene de la red, los olores y tiene también la función de pulidor, ya que abrillanta el agua, (quita el color y la deja clara) preparándola para el siguiente proceso de desmineralización.



Fig. 17. Filtro con Carbón activado.

V.1.2.3 Filtrado con resinas de intercambio iónico

Una vez eliminado el cloro del agua ésta se hace pasar a través del filtro suavizador de intercambio iónico que tiene la función de eliminar los minerales y sales de Ca y Mg disueltas que trae el agua. El filtro tiene una resina sintética que hace la función de una antracita (mineral que reacciona con el calcio y el magnesio del agua, y los absorbe) pero de mayor calidad. Este filtro tiene 5 pies³ de resina y cada pie³ tiene 33,000 granos de resina. Como el agua de red tiene una dureza de 800 ppm (sales disueltas de calcio y magnesio) esta resina tiene la capacidad de eliminarlas y reducir su concentración hasta 50 ppm.

Este proceso se hace a través de un intercambio iónico, en donde el agua choca con la resina a una presión de 20 a 30 libras/in² cediendo los calcio a la resina, haciendo que en el producto se obtengan 50 ppm de dureza total. La dureza del agua es un inconveniente para la debida purificación en el proceso de ósmosis inversa ya que si se utilizara agua dura concentrada de calcio y magnesio en la ósmosis, se tapan las membranas, reduciendo el tiempo de vida y la capacidad de filtración, de ahí la gran importancia del suavizador en la eliminación de dureza.



Fig. 18. Filtro con resinas de intercambio iónico

V.1.3. Purificación a través de ósmosis inversa

La planta de ósmosis cuenta con tres membranas de material sintético adecuadas para la filtración de agua salobre. Cuando el agua llega a la bomba principal del proceso de ósmosis inversa, entra a una presión de 30 psi.

La bomba de la ósmosis es de tipo multipasos, en este caso tiene 16 impulsores que elevan la presión de 30 a 250 libras, que es la presión de trabajo en las membranas ya que el proceso trabaja ejerciendo una presión hidráulica, consiguiendo así que el 50 % del gasto que pasa por las membranas sea de excelente calidad y el 50 % restante altamente concentrado de minerales, iones calcio, magnesio y sodio, sea desechado.



Fig. 19. Equipo de ósmosis inversa

La planta de ósmosis inversa consta de tres membranas de la marca Filtec y una bomba de 1 caballo y medio de potencia. La producción nominal de este equipo es de 18,000 litros por día teniendo una producción de 900 garrafones diarios.

V.1.4 Control bacteriológico

Luego del proceso de ósmosis inversa, la producción es depositada en un tanque de plástico Rotoplás de 5000 litros el cual está impregnado de plata coloidal estable al 95 % produciendo una activación residual en el control de bacterias en el recipiente.

El control bacteriológico se realiza por segunda ocasión a través una lámpara de rayos UV con tres bulbos, esto permite asegurar que a toda el agua que pase a través de esta lámpara le serán eliminadas al 100 % las bacterias fecales que pudiesen existir en el trayecto del tanque a la lámpara (tubería, válvulas, presurizador, filtro pulidor). La lámpara de rayos ultravioleta tiene una capacidad para producir 36,000 litros al día; cada uno de los bulbos maneja 12,000 litros.



Fig. 20. Equipo de Radiación Ultravioleta

V.1.5 Desinfección de garrafones

Antes de llenar los garrafones, éstos pasan a un proceso de lavado manual exterior y después pasan a una máquina de dos tinas. En una hay agua disuelta con plata coloidal al 3 % y en la otra hay agua purificada. Los garrafones son enjuagados a presión en un circuito cerrado en donde la bomba succiona agua de la tina que contiene plata coloidal, enjuaga el garrafón, y el agua con la disolución de plata coloidal regresa nuevamente a la tina. Esto asegura que el garrafón interiormente vaya desinfectado con un producto 100% seguro, que además elimina olores. Posteriormente pasa a la tina de enjuague que tiene sólo agua purificada para eliminar el excedente de plata que pudiese traer el garrafón

interiormente, de esta manera se asegura la completa desinfección y el debido enjuague del producto que se utiliza para el control bacteriológico.

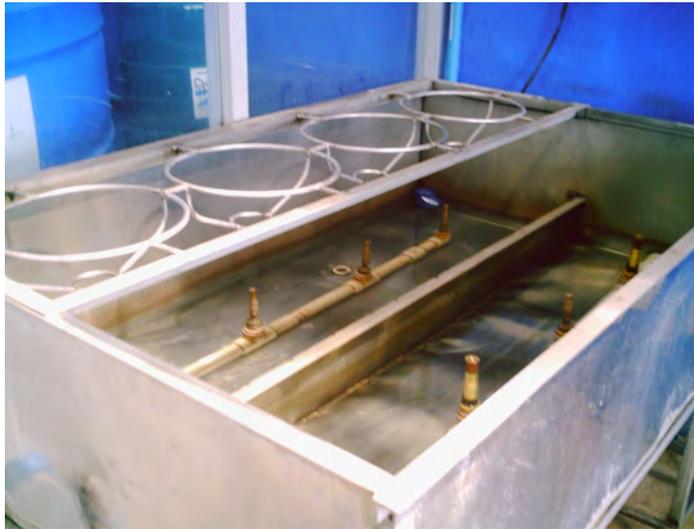


Fig. 21. Área de lavado

Finalmente se almacenan en estantes para ser llenados de forma manual y tapados de la misma forma.

V.2 Otras plantas purificadoras

En la Ciudad de Chetumal, existen otras purificadoras de agua como “La Cascada” y “La Orca”, que tienen su proceso de purificación como se explica a continuación. La descripción es muy breve debido a que no se me permitió tener acceso a las instalaciones en donde se lleva a cabo el proceso.

El agua cruda o materia prima es extraída de un pozo profundo localizado en el lugar de tratamiento, en el centro de la ciudad. Una vez extraída se almacena en un sistema en donde se dosifica con cloro residual mínimo. El cloro es medido con un clorímetro, el cual por medio de colores indica la dosificación estándar que es de 2 ppm de cloro.

Luego de almacenarse, el agua se filtra pasando por tres procesos, el primer filtro es una cámara de arena y grava, el segundo es de resina zeolítica (suavizador de intercambio iónico) y el tercero es un filtro de carbón activado que elimina los olores y sabores que pueda tener el agua cruda.

Posteriormente se almacena en tanques y pasa por un proceso de ósmosis inversa que elimina las sales de magnesio y calcio, así como algunos patógenos. Se almacena nuevamente en cisternas y se manda a un equipo de plata coloidal que ayuda a eliminar los patógenos. Ahí se agrega un contenido de plata (residual) que asegura la calidad posterior del agua.

Antes de ser descargada el agua se pasa por un proceso de rayos UV y por ozonización que en conjunto contribuyen a la eliminación final de los patógenos.

Posteriormente se almacena y se manda a líneas de llenado en botellones que pueden ser de PET, PVC, policarbonato ó vidrio. Estos botellones primero son lavados con detergente especial y posteriormente pasan por un lavado exterior e interior con agua clorada. Luego pasan a la línea semi-rotatoria de llenado en donde se llenan, se tapan y se pasan por una lámpara que permite ver si el agua no tiene algún sólido. Una vez llenos, los garrafones pasan al área de almacenamiento.

Las tapas usadas permanecen en agua clorada con 1.5 ppm de cloro residual. Finalmente se producen aproximadamente 800 garrafones de agua al día, ó 16,000 litros de agua diarios.

CONCLUSIONES

Si tomamos en cuenta únicamente la eficacia biocida, que es el tema principal de este trabajo, de la tabla comparativa podemos concluir que el ozono es el desinfectante más potente con respecto a los demás, quedando en segundo lugar el dióxido de cloro; en tercero la radiación UV, la ósmosis inversa, la ebullición, y el cloro y derivados. En cuarto lugar pero no menos importantes quedan la desinfección solar y la filtración lenta.

Ahora bien, el agua para consumo humano siempre está expuesta a ser contaminada aún después de un buen tratamiento. Los diferentes procesos de desinfección del agua expuestos en este trabajo eliminan a los patógenos de distintas formas; algunos lo hacen por oxidación, otros por radiación solar, por ebullición, pasteurización, filtración ó modificación del material genético. Cada uno de estos procesos requiere de ciertas condiciones específicas distintas a las de los demás métodos para su buen funcionamiento haciendo que surjan sus distintas desventajas, por lo que para desinfectar el agua conviene tratarla no solo con un proceso, sino combinando dos o más de ellos, lo cual también dependerá de las condiciones del agua a tratar. Entonces, para una buena elección del desinfectante, existen diferentes factores a tomar en cuenta que pueden resumirse en: que pueda destruir toda clase o la mayoría de microorganismos sin verse afectado por las condiciones del agua a tratar, que su costo sea razonable y sea fácil y seguro de manejar, que no sea tóxico al hombre y a otros seres vivos ni tener mal sabor, y que persista en el agua por un tiempo y con una concentración suficiente que asegure un efecto residual.

Debido a que es difícil encontrar un desinfectante que cumpla con todas estas características, siempre se deben tener en cuenta como segunda referencia de elección otros factores como son: las condiciones del agua a tratar, es decir qué tan contaminada está, por ejemplo si tiene elevada cantidad de materia orgánica ó turbiedad; los recursos con que se cuenta para su adquisición y manejo; las condiciones del lugar, es decir qué tan lejos de las ciudades se encuentra, lo que

dificultaría la fácil adquisición del desinfectante; las condiciones climáticas que permitan ó impidan el uso de éstos procesos, por ejemplo el caso de los métodos de desinfección solar que requieren de lugares con suficiente radiación solar; la cantidad de gente a abastecer y la complejidad de su tecnología ligado a la capacidad del personal para su manejo.

Como podemos ver, tomando en cuenta todos estos factores en conjunto, es difícil decidir a ciencia cierta cuál es el mejor desinfectante, por lo que para elegir un desinfectante siempre se debe hacer un estudio previo de las condiciones generales con que se cuentan. Así mismo es importante saber que cada proceso puede ser tan eficiente como otro siempre que sea operado de la mejor manera, la diferencia radica en que unos requieren de un de pre tratamiento ó de más condiciones que otros para su buen funcionamiento, siendo éste el motivo por el que se les considera a unos menos eficientes que a otros.

Debe mencionarse que debido a la gran cantidad de gente que se abastece, el método más usado para desinfectar el agua en las diferentes áreas de tratamiento, principalmente en agua potable, ha sido el cloro y sus derivados puesto que es un método un tanto más barato, fácil de usar y eficaz. En cuanto a plantas purificadoras, el método más usado ha sido el ozono por su gran eficacia. Actualmente el agua purificada es cada vez más costosa siendo que para la gente de las zonas rurales o de escasos recursos puede no estar a su alcance, mientras que, en cuanto al agua potable, ésta siempre está expuesta a ser infectada, por lo que no se considera un agua completamente apta para ser ingerida.

Como consumidores de agua, es necesario conocer cómo abastecernos de ella nosotros mismos de una forma confiable sin tener que depender de quien nos la vende. Así pues, podemos encontrar procesos de desinfección desde los más baratos hasta los más costosos. Como elemento vital, hoy en día el agua se ha convertido en un recurso cada vez más codiciado por lo que ha sido tratada como tema de importante polémica en muchos países del mundo.

Bibliografía citada y consultada:

1. La desinfección de aguas residuales no genera trihalometanos <http://www.econoticias.org.ar/econoticias/modules.php?name=News&file=article&sid=377> julio de 2007.
2. <http://www.momarandu.com/amanoticias.php?a=7&b=0&c=71167> octubre de 2007.
3. <http://www.drscope.com/privados/consulta/colera/index.html>, julio de 2007.
4. El agua. Potabilización de las aguas: historia y procesos actuales <http://www.caasd.gov.do/documentos/EI%20Agua/Agua%20potable.pdf> julio de 2007.
5. Hernández Muñoz Aurelio. 1993. Abastecimiento y Distribución de Agua. Cátedra de Ing. Sanitaria y Medio Ambiente. Paraninfo. S.A., tercera Edición. España. 793 pp.
6. Solsona Felipe, Méndez Juan Pablo. 2002. Desinfección del Agua. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. División de salud y Ambiente. Organización Panamericana de la Salud. Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud.
7. Cortés Muñoz, Juana. Radiación solar para desinfectar agua en comunidades rurales. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca Morelos. Julio de 2007.
8. http://solar.nmsu.edu/publications/destiladores_slp.pdf septiembre de 2007.

9. Programa Regional para la Promoción del Uso de Tecnologías Apropriadas en Saneamiento Básico Plantas de Filtración Lenta (PFL). Septiembre de 2007.
10. <http://www.monografias.com/trabajos12/conpurif/conpurif.shtml> julio de 2007
11. http://www.excelwater.com/spa/b2c/water_tech_3.php?WL_Session=ee9fb25f356117a55b153980c4f8be61 julio de 2007.
12. G. Tyler Miller, Jr. 2002. Ciencia Ambiental, Preservemos la Tierra. International Thomson Editores. Quinta Edición. 456 pp.
13. <http://www.aquapurificacion.com/que-es-osmosis-inversa.htm> agosto de 2007.
14. Desinfección de Emergencia del Agua Potable
http://www.pandemicreferenceguides.com/pdfFiles/Water/emergencyDisenfectingDrinkWater_Spanish.pdf junio de 2007.
15. W. Roeske, C. Müller y Günzburg. 2007. Desinfección de Agua Potable con Cloro y Dióxido de Cloro. Un bosquejo de diferentes métodos.
16. Rodríguez Jerez José Juan. 27 de mayo de 2003. El Ozono y la Desinfección del Agua. La eficacia del ozono depende del tiempo, la concentración empleada, la presencia de materia orgánica y la existencia de otros contaminantes.
<http://www.consumaseguridad.com/web/es/investigacion/2003/05/27/6613.php>
julio de 2007.
17. Rolf A. Deininger, Facultad de Salud Pública, Universidad de Michigan. Ann Arbor, Michigan, EUA. Janice Skadsen y Larry Sanford, Planta de Tratamiento de Agua de Ann Arbor 919 Sunset Road, Ann Arbor, Michigan, EUA. OZONO. Anthony G. Myers CH2MHILL 310 W. Wisconsin Avenue, Milwaukee, Wisconsin, EUA. Original: inglés.

18. <http://www.aquapurificacion.com/ozono.htm> junio de 2007.
19. Norma Oficial Mexicana, NOM-127-SSA1-1994. "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION".
20. Norma Oficial Mexicana, NOM-041-SSA1-1993. BIENES Y SERVICIOS. AGUA PURIFICADA ENVASADA. ESPECIFICACIONES SANITARIAS.
21. Romero Rojas Jairo Alberto. 1999. Potabilización del Agua. Alfa Omega Grupo Editor, S.A de C.V. Tercera Edición. Pitágoras 1139, Col. Del Valle 03100, México D.F. 327 pp.
22. Proveedores Coydo, Sevilla España. <http://www.controlydosificacion.com/ultra-violetas-gama-domestica-p-263.html> octubre de 2007.
23. Mecánicas J. Mesas, S. C. P.
http://images.google.com.mx/imgres?imgurl=http://imagenes.acambiode.com/img-bbdd/ACF5FD4.JPG&imgrefurl=http://www.acambiode.com/producto_65549466556645055694305006045744.html&h=418&w=499&sz=26&hl=es&start=2&um=1&tbnid=YmjYpgv0FgukMM:&tbnh=109&tbnw=130&prev=/images%3Fq%3Dequipos%2Bde%2B%25C3%25B3smosis%2Binversa%2Ben%2BM%25C3%25A9xico%26svnum%3D10%26um%3D1%26hl%3Des octubre de 2007.
24. http://images.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www.apaer.com.ar/200632249517174.jpg&imgrefurl=http://www.ciifenint.org/modules.php%3Fname%3DWebLinks%26l_op%3Dvisit%26lid%3D44&h=250&w=300&sz=34&hl=es&start=18&um=1&tbnid=mKWq4MrquiVBiM:&tbnh=97&tbnw=116&prev=/images%3Fq%3Dequipos%2Bde%2B%25C3%25B3smosis%2Binversa%2Ben%2BM%25C3%25A9xico%26svnum%3D10%26um%3D1%26hl%3Des octubre de 2007.

25. http://images.google.com.mx/imgres?imgurl=http://acuamexshop.com.mx/tienda/images/osmosis.jpg&imgrefurl=http://acuamexshop.com.mx/tienda/index.php%3Fmain_page%3Dpage_2&h=480&w=640&sz=46&hl=es&start=33&um=1&tbnid=gwqL8AETM4Q5bM:&tbnh=103&tbnw=137&prev=/images%3Fq%3Dequipos%2Bde%2B%25C3%25B3smosis%2Binversa%2Ben%2BM%25C3%25A9xico%26start%3D20%26ndsp%3D20%26svnum%3D10%26um%3D1%26hl%3Des%26sa%3DN octubre de 2007.

26. Aguamarket, Productos y Servicios para la Industria del Agua Latinoamericana. http://www.aguamarket.com/sql/productos/productos.asp?product_o=853 octubre de 2007.

27. Proveedor: Ozomatic de México. <http://www.ozomatic.org/> octubre de 2007.

28. <http://www.acsmedioambiente.com/> octubre de 2007.

29. Aguamarket, Productos y servicios para la industria del agua latinoamericana. http://images.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www.aguamarket.com/sql/productos/fotos/econext_ozono.jpg&imgrefurl=http://www.aguamarket.com/sql/productos/productos.asp%3Fproducto%3D594&h=309&w=309&sz=13&hl=es&start=2&um=1&tbnid=RlrFLEjZAtGJM:&tbnh=117&tbnw=117&prev=/images%3Fq%3Dequipo%2Bde%2Btratamiento%2Bde%2Bagua%2Bcon%2Bozono%2Bprecios%26svnum%3D10%26um%3D1%26hl%3Des%26sa%3DN octubre de 2007

30. Folleto Informativo de Tecnología de Aguas Residuales. Desinfección con Ozono. Office of Water Washington, D.C. EPA 832-F-99-063. www.epa.gov/owm/m-b/cs-99-063. Septiembre de 1999 septiembre de 2007.

31. Revista Española de Salud Publica vol.79 no.2 Madrid Mar./Apr. 2005

32. Johnson, J. Donald. Desinfection Water and Waste Water. (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Cuernavaca, Morelos)

-
33. La Desinfección del agua. OPS, Oficina sanitaria Panamericana. (IMTA, Cuernavaca, Morelos)
34. Gordon Maskew Fair, John Charles Geyer, Daniel Alexander Okun. 1996. Purificación de agua y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales. Ing. Sanitaria y de aguas Residuales. Editorial Limusa. S.A de C.V. Noriega Editores.764 pp.
35. Romero Rojas Jairo Alberto. 1999. Calidad del agua. Alfa Omega. Grupo editor, S.A. de C. V. Segunda Edición.
36. T.H.Y. Tebbutt. Fundamentos de Control de la Calidad del Agua. Noriega Editores Limusa. Tercera Edición. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Birmingham. 238 pp.
37. Seoanez Calvo Mariano y colaboradores.1999. Ingeniería del Medio Ambiente aplicado al Medio Natural Continental: Aire, agua, suelo, vegetación y fauna. Tecnologías de identificación, lucha y corrección. Editores Mundi-Prensa. 2a Edición. 702 pp.
38. Cánepa de Vargas Lidia. FILTRACIÓN LENTA COMO PROCESO DE DESINFECCIÓN. CEPIS-OPS. Lima, Perú.
39. Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua. Agua potable para comunidades rurales, re-uso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. Capítulo 14 CONSIDERACIONES SOBRE LOS SUBPRODUCTOS DE LA DESINFECCIÓN.
40. Barreiro Eduardo, Ghislieri Daniel. ELIMINACION DE MICROORGANISMOS. DESINFECCION. Departamento de Tecnología y Servicios Industriales. Noviembre de 2007.

41. Karanis Panagiotis, Kourenti Christina and Smith Huw, “Waterborne transmission of protozoan parasites: A worldwide review of outbreaks and lessons learnt”. *Journal of Water and Health*. IWA Publishing 2007.
42. Howard Guy (Department for International Development, United House, 10 Gulshan Avenue, Gulshan 1, Dhaka 1212, Bangladesh), Bartram Jamie, (Water, Sanitation and Health Programme, World Health Organization, 20 Avenue Appia 1211, Geneva 27, Switzerland), “Effective water supply surveillance in urban areas of developing countries”. *Journal of Water and Health*. IWA Publishing 2005.
43. Pokhrel Damodar and Viraraghavan Thiruvengkatachari “Diarrhoeal diseases in Nepal *vis-a`-vis* water supply and sanitation status” Faculty of Engineering, University of Regina, 3737 Wascana Parkway, Regina, SK S4S 0A2, Canada. *Journal of Water and Health*. IWA Publishing 2004.
44. Rijal G.K. (Metropolitan Water Reclamation District of Greater Chicago, 6001 W. Pershing Road, Cicero, Illinois 60804, USA), Fujioka R.S (Water Resources Research Center, University of Hawaii, 2540 Dole Street, Holmes Hall 283, Honolulu, Hawaii 96822, USA) “Use of reflectors to enhance the synergistic effects of solar heating and solar wavelengths to disinfect drinking water sources”. *Water Science and Technology* Vol 48 No 11–12 pp 481–488. IWA Publishing 2003.
45. K. Sharma Virender (Chemistry Department, Florida Institute of Technology, Melbourne, FL 32901,USA), Kazama Futaba (Faculty of Engineering, Yamanashi University, Kofu, Japan), Jiangyong Hu and Ajay K. Ray (Faculty of Engineering, National University of Singapore, Singapore) “Ferrates (iron(VI) and iron(V)): Environmentally friendly oxidants and disinfectants” *Journal of Water and Health*. IWA Publishing 2005
46. http://www.cdc.gov/ncidod/dbmd/diseaseinfo/cholera_g_span.htm febrero de 2007.

-
47. http://www.tuotromedico.com/temas/fiebre_tifoidea_salmonelosis.htm febrero de 2007.
48. <http://www.drscope.com/privados/consulta/colera/> febrero de 2007
49. Amebiasis intestinal
<http://www.entornomedico.org/salud/saludyenfermedades/alfaomega/amibiasis-intestinal-contenido.html> febrero de 2007.
50. La amebiasis como causa de disentería en la infancia
<http://www.drrondonpediatra.com/amibiasis.htm> febrero de 2007.
51. Fiebre tifoidea <http://www.monografias.com/trabajos12/fietifoi/fietifoi.shtml> marzo de 2007.
52. Disentería Amebiana <http://www.netdoctor.es/html/000208.html> marzo de 2007
53. http://www.col.ops-oms.org/DIAA/2002/MINDES_1_2_consumo.htm abril de 2007.
54. Enfermedades transmitidas por el agua
<http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/agua.html> abril de 2007.
55. Las enfermedades hídricas <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/sequia/t-cap11.html> mayo de 2007.
56. Guía Para Individuos con el Sistema Inmunológico Severamente Debilitado. Publicado en conjunto con los Centros de Control y Prevención de Enfermedades (*Centers for Disease Control and Prevention (CDC)*), 1995.
<http://www.epa.gov/safewater/agua/crypto.html> mayo de 2007.

-
57. <http://www.aguacoop.cl/potibilizacion.htm> junio de 2007.
58. Agua potable
http://www.imacmexico.org/ev_es.php?ID=19838_208&ID2=DO_TOPIC junio de 2007.
59. <http://contaminacion-purificacion-agua.blogspot.com/> junio de 2007.
60. Desinfección. Tomado de: Sistemas de abastecimiento de agua para pequeñas comunidades: tecnología de pequeños sistemas de abastecimiento de agua en países en desarrollo / CEPIS, 1988. <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/repind55/desinf/desin.html> junio de 2007.
61. Gastroenteritis <http://www.explored.com.ec/guia/fas817.htm> junio de 2007.
62. Enfermedades Hídricas <http://www.apasmetepec.gob.mx/04/02/02.html> junio de 2007.
63. El uso del cloro en la desinfección del agua
<http://www.edustatspr.com/Materiales/proyectos/Inv97-98-II-3.pdf> junio de 2007.
64. <http://www.unex.es/edafo/ECAP/ECAL5PFQPotRedox.htm> junio de 2007.
65. Agentes oxidantes y reductores
http://www.hiru.com/es/kimika/kimika_02300.html junio de 2007.
66. La importancia de agua
<http://www.monografias.com/trabajos12/conpurif/conpurif.shtml> junio de 2007.
67. <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/aguabas/dioxido/dioxido.html> Julio de 2007.
68. <http://www.lenntech.com/espanol/glosario-agua.htm#D> agosto 2007.

69. Los protozoos <http://es.wikipedia.org/wiki/Protozoo> agosto de 2007.
70. ÁREA INTERDISCIPLINARIA DE CIENCIAS DEL MAR. DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA MARINA. PHYLUM PROTOZOA. La Paz, B.C.S. a 21 de Febrero del 2002. http://html.rincondelvago.com/protozoos_3.html agosto de 2007.
71. <http://www.ctv.es/USERS/fpardo/vihtoxo.htm> agosto de 2007.
72. http://gmhc.org/espanol/paginas/toxo_esp.html agosto de 2007.
73. Las tenias <http://www.botanical-online.com/medicinalstenia.htm> agosto de 2007.
74. Gusanos intestinales
<http://www.botanicalonline.com/medicinalsgusanosintestinales.htm> agosto de 2007
75. <http://www.controlydosificacion.com/ultra-violetas-gama-domestica-p-263.html> agosto de 2007.
76. <http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?ld=168> agosto de 2007.
77. Hermenegildo García Gómez, catedrático de Química Orgánica de la UPV«Toda la población está expuesta al consumo de trihalometanos». Septiembre de 2003. <http://www.consumaseguridad.com/sociedad-y-consumo/2003/09/04/8143.php> agosto de 2007.
78. http://www.cdc.gov/ncidod/dbmd/diseaseinfo/shigellosis_g_sp.htm agosto de 2007.
79. <http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/2bachillerato/micro/contenidos7.htm> agosto de 2007.

80. Los seres vivos. Reino protista
<http://apuntes.infonotas.com/pages/biologia/seres-vivos/reino-protista.php> agosto de 2007.
81. Desinfección. <http://www.lenntech.com/espanol/datos-ozono.htm>, septiembre 2007.
82. http://www.migrantclinician.org/resources/safe_drinking.pdf septiembre 2007.
83. Intercambio iónico. Artículo de la enciclopedia. <http://es.wikipedia.org/wiki/Adsorci%C3%B3n> octubre de 2007.
84. CATÁLISIS I <http://www.heurema.com/QG3.htm> octubre de 2007.
85. Elefantiasis testicular. Hidrocele Cronico con varicocele de origen no infeccioso. Caso clinico Carlos Plata García. [Revista Electronica de PortalesMedicos.com](http://www.portalesmedicos.com/publicaciones/articulos/698/1/Elefantiasistesticular-Hidrocele-Cronico-con-varicocele-de-origen-no-infeccioso-Caso-clinico.html)
<http://www.portalesmedicos.com/publicaciones/articulos/698/1/Elefantiasistesticular-Hidrocele-Cronico-con-varicocele-de-origen-no-infeccioso-Caso-clinico.html>
octubre de 2007.
86. ¿Qué son las filariasis?
http://www.saludalia.com/Saludalia/servlets/contenido/jsp/parserurl.jsp?url=web_saludalia/enfermedadesRaras/doc/infecciosas/doc/doc_filariasis.xml octubre de 2007
87. SALMONELOSIS Jaime Saravia, M.D. Sección de Enfermedades Infecciosas Hospital San Juan de Dios <http://www.aibarra.org/Guias/7-25.htm> octubre de 2007
88. Poliamida <http://es.wikipedia.org/wiki/Poliamida> octubre de de 2007.
89. Antracita <http://es.wikipedia.org/wiki/Antracita> octubre de 2007.

ANEXO 1. Sistema de Desinfección por Rayos Ultravioleta



Sistema de desinfección Ultra
Violetas Gama Doméstico

Un equipo compuesto por un sistema de filtración compacto y lámpara ultravioleta, con caudal de tratamiento de 3.2 litros por minuto y un consumo de 12 w, tiene un costo de 817.65 euros, equivalente a 12,765.94 pesos mexicanos.²²

ANEXO 2.- Equipos de Osmosis Inversa ²³



Equipos de Osmosis Inversa doméstica, 5 etapas.

INVERSA 5 ETAPAS

TIPO RO-A&J

Tipo de producto: Tratamiento de Aguas.

- Equipo con producción de 170 litros / día en flujo directo, poca pérdida de agua rechazada, buena seguridad frente a eventuales pérdidas de agua (desconexión accidental), calidad en la producción óptima, filtros estándar que se pueden adquirir en cualquier comercio de tratamiento de aguas.

- Precio: 270,00 euros (270,00 Euros equivalen a 4,302.39 Pesos Mexicanos)

COMPONENTES DEL EQUIPO RO-A&J

3 porta cartuchos de 10", 1 porta membrana, 1 prefiltro de sedimentos de 5 micras de 10", 1 filtro carbón GAC de 10", 1 filtro carbón CTO de 10", 1 membrana osmótica de 75 gpd, 1 filtro post carbón en línea, 1 manómetro carcasa plástica (indicador de llenado ó fuga), 1 restrictor de 300 ml, 1 depósito acumulador de 10 litros, 1 grifo cromado caño largo, 1 válvula anti-retorno, 1 conector para desagüe, 1 adaptador para toma de agua, 1 válvula agua de entrada, 1 válvula flushing (válvula de descarga) manual, 1 válvula 4 vías shutt off (válvula de cierre), conectores con rosca.

Osmosis inversa doméstica de 6 Etapas.²⁴



Incluye 1 pre-filtro polyspun, 1 prefiltro de carbón activado, 1 membrana de ósmosis inversa, un post-filtro de carbón con luz ultravioleta integrada y un post-filtro en línea de 10" GAC.

Producción: 75 Galones por día.

Precio: 2,000.00 pesos mx. + IVA

Equipo de Ósmosis Inversa de 5 Etapas²⁵



Producción: 283 l/día, 5 Etapas.

Precio: \$2,467.50MXN.

Este filtro está completamente ensamblado, 100% sometido a prueba de fábrica y esterilizado, apto para su instalación, consta de tanque de almacenaje de 8 litros, bomba booster (bomba elevadora de presión de agua necesaria de trabajo), grifo de cromo largo para cocineta integral o pared, tuberías de conexión, ideal para colocarlo debajo de la cocineta integral. Este equipo de ósmosis cuenta con 5 etapas de filtrado que a continuación se describen:

ETAPA 1: Filtro de **sedimentos** de 5 micras. Fabricado con un 100% de fibras de polipropileno que es un material muy durable y resistente que permite una excelente filtración. Actúa como un filtro mecánico de alta capacidad para la eliminación de suciedad, arena y detritos.

ETAPA 2: Filtro de **carbón activo** granular. Filtro compuesto de carbón activo de alta eficiencia que actúa como catalizador y adsorbente. Como catalizador el carbón activo elimina un 99% de concentraciones residuales de agentes oxidantes como el cloro protegiendo la membrana y, como adsorbente, elimina compuestos químicos orgánicos. Además estos compuestos son los causantes de problemas de olores y sabores, de esta manera el filtro de carbón activo contribuye a mejorar las propiedades organolépticas del agua.

ETAPA 3: Filtro de **carbón en bloque**. Es un filtro mecánico además de ser de carbón. Mejora la entrada del agua a la membrana protegiéndola.

ETAPA 4: Membrana de **Ósmosis Inversa** de 283 litros. Consiste en una fina película semipermeable por donde se conduce el líquido con un flujo de 283 litros al día (75 galones al día) para pasar de un estado de alta concentración de sólidos totales disueltos, a baja concentración.

ETAPA 5: Post **Filtro de carbón**. Este filtro de carbón elimina cualquier impureza, olor y sabor residual garantizando la máxima calidad del agua.

ANEXO 3.- Dosificador de Cloro²⁶**Características:**

- El dosificador de cloro es instalado en el estanque y contiene en su interior un canastillo con una cápsula de hipoclorito cálcico HTH de 300 gramos de peso.

- Simples giros de la tapa en la dirección de cierre (en el sentido de las manecillas del reloj) introduce el canastillo, conteniendo la cápsula de cloro, en el flujo de agua que recorre el interior del dosificador.



- Varias vueltas a la tapa permiten regular la entrega de cloro al agua en rangos que van desde 1 ppm/litro (agua potable) a 5 ppm/litro (agua para higienización de baños, agua para procesos industriales, regadío de flores y verduras para impedir presencia de algas y otros organismos).

- Vueltas a la tapa en sentido contrario a las manecillas del reloj permiten al resorte de acero especial, colocado al fondo del cuerpo del dosificador, retirar el canastillo secuencialmente fuera del flujo hidráulico.

- El dosificador permite la potabilización del agua en forma rápida y sencilla.

- El sistema, con una variada gama de estanques en fibra de vidrio reforzada

(FVR) con capacidades desde 500 a 5000 litros, permite disponer de agua potable siempre que se desee.

- Treinta minutos de tiempo inicial de contacto del cloro con el agua, posibilitan la efectiva acción del ácido hipocloroso que libera el cloro, potabilizando el agua.

- Un cloro residual de 0,3-0,4 ppm/litro asegura que el agua sea tratada para el uso humano las 24 horas del día.

Precio: \$ **1,740.21** + IVA

ANEXO 4.- Equipos Generadores de Ozono ²⁷

Descripción	Datos técnicos
Ozomatic Agua 500 L	Producción de Ozono 500 mg/h.
Generador de Ozono de uso doméstico para burbujear con temporizador integrado.	Método de generación de Ozono: Descarga de Corona. Número de artículo: OZA1040



Descripción	Datos técnicos
Ozomatic Agua 1000L	Producción de Ozono 1000 mg/h Capacidad: 1000 l/h
Generador de Ozono de uso doméstico.	Método de generación de Ozono: Descarga de Corona Número de artículo: OZA1060

Descripción	Datos técnicos
Ozomatic Agua 1000 L.	Producción de Ozono 1000 mg/h Capacidad: 1000 l/h
Generador de Ozono de uso doméstico e industrial. Completamente ajustable (0%-100%)	Método de generación de Ozono: Descarga de Corona. Número de artículo: OZA1070



Generadores de Ozono.- Series SGA ²⁸



Las Series SGA son generadores de ozono con un tablero montado en una pared de acero inoxidable. Cualquier cantidad de ozono, de cero hasta el máximo puede ser obtenido por el Control de Poder Variable y con el Medidor de Flujo de gas, haciendo muy amigable cualquier aplicación.

La elegancia y el diseño simple están hechos con una ingeniería para un mínimo de mantenimiento y libre de problemas de operación.

Estos generadores son una opción ideal para procesos y aplicaciones que requieren un control automático y continuo de ozono.

Controles

- Control variable 0-100%
- LED Visual Indicador de Ozono
- Contador de referencia 0-5VDC
- Alimentación de gas a presiones 0-15 psi
- Alimentación de flujo de gas medido 0-50 scfh
- Circuito interruptor con switch ON/OFF

Características

- Pared interior montable de acero inoxidable
- Regulador de la presión del aire
- Filtro con drenado automático
- Fusible de protección

- Switch de puerta de seguridad
- Control de apagado automático para temperaturas extremas
- Control del abanico enfriador de temperatura
- Control del flujo de aire por válvulas Solenoide on/off
- Switch de alimentación del flujo de gas

PRECIOS REFERENCIALES DE GENERADORES DE OZONO: ²⁹

Generador de ozono de .25 g: 300 u.s.d.

Generador de ozono de 0.50 g: 450 u.s.d.

Generador de ozono de 1.00 g: 600 u.s.d.

Generador de ozono de 2.50 g: 900 u.s.d.

Generador de ozono de 5.00 g: 1200 u.s.d.