



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

SEMINARIO DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

**“Desinfección De Agua Potable Y De Aguas Residuales
Tratadas Por Métodos De Cloración”**

Carrera: Ingeniería Química

Alumno: Roberto Romero García

Asesor: Ing. Mariano Ramos Olmos

Ciudad de México a 3 de Junio de 2005



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



ÍNDICE	Paginas
Introducción	3
Justificación.	3
Objetivos.	4
Capítulo 1	
1.0 Antecedentes.	5
1.1 Problemática del Suministro del Agua.	7
1.2 Uso del Agua Residual Tratada por Agua Potable.	7
1.2.1 Bacterias.	10
1.2.2 Virus.	11
1.2.3 Protozoarios.	11
1.2.4 Helmintos.	12
1.3 Agua Potable.	13
Capítulo 2	
Marco teórico de la Desinfección del Agua.	14
2.0 La importancia de la Desinfección.	14
2.1 Eficacia de la Desinfección.	15
2.2 Medios de Desinfección.	15
2.3 Mecanismos de acción de los Desinfectantes.	18
2.4 Condiciones de Operación.	18
2.5 Teoría de la Desinfección.	19
Capítulo 3	
Métodos de Desinfección.	21
3.0 Cloración.	21
3.0.1 Química de la Cloración.	21
3.0.2 Cloración al Breakpoint.	25
3.0.3 Reacciones de demanda de Cloro.	27
3.0.4 Equipos.	28
3.1 Desinfección con Ozono.	29
3.2 Radiación Ultravioleta.	32
3.3 Yodo.	36
3.4 Bromo.	38
3.5 Plata.	38
3.6 Dióxido de Cloro.	40
Capítulo 4	
4.0 Marco Normativo.	41
4.1 Agua Potable.	
4.1.1 Norma Oficial Mexicana (NOM-041-SSA-1993).	41
4.1.2 Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994).	42
4.2 Aguas Residuales.	
4.2.1 Norma Oficial Mexicana (NOM-001-SEMARNAT-1996).	43
4.2.2 Norma Oficial Mexicana (NOM-002-SEMARNAT-1996).	47
4.2.3 Norma Oficial Mexicana (NOM-003-SEMARNAT-1997).	48



ÍNDICE	Paginas
Capítulo 5.	
Producción de Hipoclorito de Sodio por Electrólisis.	
5.0 Descripción General Del Proceso.	49
5.1 Circuito de Salmuera.	50
5.1.1 Saturación de Salmuera.	50
5.1.2 Precipitación de Salmuera.	50
5.1.3 Filtración de Salmuera.	51
5.1.4 Purificación Secundaria de Salmuera.	51
5.1.5 Decoloración de Salmuera y Destrucción de Cloratos.	52
5.1.6 Precipitación de Sulfatos.	53
5.1.7 Operación del Filtro Prensa.	54
5.2 Circuito de Catolito.	54
5.3 Unidad de Hipoclorito.	55
Conclusiones.	57
Bibliografía.	58



INTRODUCCIÓN.

El trabajo inicia con un análisis de la problemática que existe en el suministro de agua potable y del tratamiento de agua residuales en el valle de México en el capítulo 1 de antecedentes se plantea dicha problemática. Así mismo se hace referencia a los principales agentes bacteriológicos y parásitos causantes de enfermedades intestinales por el consumo de agua potable o el contacto de aguas residuales contaminadas por los mismos.

En el capítulo 2 se analiza la importancia de la desinfección de agua, los mecanismos con los que se lleva la misma y las condiciones que se deben de cumplir para que se lleve a cabo la desinfección.

En el capítulo 3 se analizan los diferentes métodos y productos utilizados para la desinfección del agua. En el capítulo 4 se describe el marco Normativo. Finalmente en el capítulo 5 se detalla el proceso de producción de hipoclorito de sodio por electrólisis.

JUSTIFICACIÓN:

En la actualidad se considera que los procesos de desinfección del agua implican un tratamiento especializado, dirigido a la destrucción de organismos perjudiciales o simplemente indeseables. Clásicamente, los procesos de desinfección se han empleado con la finalidad de destruir o inactivar los organismos (patógenos) productores de enfermedades y, muy especialmente, las bacterias de origen intestinal que pudieran estar en las fuentes de abastecimiento de agua potable o en las aguas residuales que se vierten a los cuerpos receptores.

En consecuencia, es de suma importancia el suministrar a la población agua potable con la suficiente calidad para que no cause enfermedades intestinales y debemos evitar que los centros urbanos contaminen los cuerpos receptores de aguas residuales bacteriológicamente. Para tal fin las autoridades correspondientes han emitido una serie de normas oficiales mexicanas tales como la NOM-127-SSA-1994 o la NOM-001-SEMARNAT-1996 que permiten regular la calidad del agua para consumo humano y los límites máximos permisibles de contaminantes de las descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores respectivamente.

De acuerdo a las estadísticas del agua en México en la actualidad:

La cobertura de agua potable a nivel nacional que satisface los requerimientos de la norma oficial mexicana NOM-127-SSA-1994 es del 87.8%, de los cuales el 94.6% corresponde a los centros urbanos y el 68% a nivel rural. El caudal de agua que se potabiliza a nivel nacional es de 84.9 m³/s en un total de 400 plantas potabilizadoras y se desinfectan a nivel nacional un total de 302 m³/s teniendo como principal método de desinfección la cloración del agua. Se generan a nivel nacional en los centros urbanos 252 m³/s de aguas residuales municipales y la industria genera 171 m³/s de los cuales solamente se tratan 50.8 m³/s de las aguas residuales municipales en 938 plantas de tratamiento en operación y 24.5 m³/s de residuales industriales en 1405 plantas de tratamiento en operación. Del total de 2443 plantas de tratamiento de aguas residuales en operación el 95% tienen como principal método de desinfección la cloración.



OBJETIVOS.

- 1.- Describir el mecanismo de los derivados del cloro con el que se lleva acabo la desinfección del agua.
- 2.- Realizar un análisis de las ventajas y desventajas de los principales métodos de desinfección en los procesos de potabilización de agua y tratamiento de aguas residuales.
- 3.- Describir el proceso para la producción de hipoclorito de sodio a partir de Electrólisis.



CAPÍTULO 1

1.0 ANTECEDENTES.

Hasta 1900, la ciudad de México se abastecía de agua potable a través de fuentes superficiales propias, sus manantiales. Al incrementarse la población, las fuentes de abastecimiento resultaron insuficientes para satisfacer la demanda, por lo que se inició la extracción de agua de los acuíferos por medio de pozos. Unos cuantos años después la oferta resultó inferior a la demanda, paralelamente se intensificó el hundimiento de la ciudad por lo que se hizo necesario recurrir a fuentes de abastecimiento externas al Valle de México. Primero, en los años cuarenta fue el acuífero de Lerma y en los ochenta se construyó el sistema Cutzamala.

Hoy, del 100% del abastecimiento de agua a los habitantes de la ciudad de México, un 98% es por medio de tomas domiciliarias y 2% es con carros tanques y tanques móviles.

El suministro de agua potable a la ciudad es complicado y costoso por lo heterogéneo de la distribución de sus habitantes en el territorio, también influye la poca disponibilidad del líquido, sobreexplotación de los mantos acuíferos, origen de hundimientos que ocasionan fracturas en la red de distribución y fugas; a su vez provocan la disminución de la calidad del agua en algunas zonas del acuífero.

Lograr el suministro eficiente para toda la población es un reto que se tiene que enfrentar con una estrategia que enlace las diferentes acciones de planeación, operación, construcción y mantenimiento que se integran en el Plan Maestro de Agua Potable del Gobierno del Distrito Federal.

El plan contempla en una primera instancia, un proceso de planeación para normar las actividades que permiten mejorar el servicio de agua potable, entre lo que destacan, la realización de estudios básicos para el análisis del funcionamiento del sistema, la recuperación de los volúmenes de agua que se pierden por fugas, aumentar el reuso de agua residual tratada en usos que no requieran agua potable, propiciar entre los habitantes un uso eficiente del agua; otras acciones están encaminadas a mejorar la infraestructura y establecen jerarquías en las obras necesarias, optimizar las políticas de operación, así como aprovechar en su totalidad los caudales de las fuentes externas sin deteriorar las regiones.

En la zona metropolitana de la Ciudad de México viven alrededor de 25 millones de habitantes. De ellos residen en el Distrito Federal 8.8 millones, mas la población flotante que entra y sale diariamente de esta entidad. Para atender los requerimientos de agua potable, se suministra un caudal medio anual de $59\text{m}^3/\text{s}$, con lo que se alcanza una cobertura mediante tomas domiciliarias del 98% en el Distrito federal y 90% en los 17 municipios conurbados del Estado de México. En el Distrito Federal se distribuyen en promedio $35.4\text{ m}^3/\text{s}$, de los cuales el 69% proviene de fuentes subterráneas: 55% del acuífero del Valle de México y 14% del Lerma; en tanto que el 31% restante corresponde a fuentes superficiales, básicamente de la cuenca del río Cutzamala.



El caudal captado se transporta a través de 514 Km. de acueductos y líneas de conducción a 297 tanques de almacenamiento con capacidad conjunta de 1710 millones de m³ que distribuyen el agua por medio de 875 Km. de redes primarias y más de 11900 Km. de redes secundarias a los usuarios del servicio. Adicionalmente, se utilizan 284 plantas de bombeo para dotar de agua a las zonas altas. Para proporcionar agua de calidad potable, se operan 18 plantas potabilizadoras, de las cuales 13 funcionan a pie de pozo y 360 dispositivos de cloración. En el sistema, se operan 54 estaciones medidoras de presión distribuidas estratégicamente, para tener un funcionamiento eficiente de las tuberías.

Con esta impresionante infraestructura se suministra agua potable a todos los habitantes de la ciudad y para que tengan cada uno un promedio de 290 litros diarios de agua potable con calidad aceptable.

Para preservar la calidad del agua, se efectúan constantes inspecciones sanitarias a las instalaciones del sistema y se llevan a cabo un programa permanente de muestreo, el cual comprende anualmente la realización de más de 50,000 análisis físicos, químicos y biológicos.

Se cuenta con un laboratorio de control de calidad del agua, donde es posible analizar más de 250 parámetros físicos, químicos y biológicos. Para ello se emplean desde las técnicas convencionales hasta las más desarrolladas, tales como la absorción atómica, cromatografía de gases y espectrometría de masas, lo que puede permitir la detección de virus, mutágenos, metales pesados y orgánicos sintéticos en muestras de agua potable, residual, pluvial y residual tratada.

La extracción de agua del Valle de México es superior a la que se infiltra. Esto ha provocado abatimiento de los niveles freáticos en algunos sitios hasta de 7 metros en un período de 6 años y la disminución paulatina de los caudales extraídos, lo que ha obligado a crear nuevas políticas de explotación de pozos.

Durante la explotación del acuífero se han presentado hundimientos del terreno, en promedio de 10 centímetros anuales, aunque existen valores extremos de 40 centímetros. Los hundimientos afectan el funcionamiento de la infraestructura hidráulica y provocan daños en las edificaciones.

En resumen, persiste una problemática que no puede ignorarse. Así:

- a) La explotación de la fuente más importante de abastecimiento, los acuíferos del Valle de México, sigue provocando los hundimientos del terreno que afectan el funcionamiento hidráulico de las redes.
- b) Por la ampliación de la zona urbana, el sistema hidráulico se ha tornado cada vez más extenso y complejo; además, la distribución de caudales no es uniforme y persiste una actitud de derroche del recurso por parte de los usuarios.
- c) El servicio de agua potable permanece subsidiado.



1.1 PROBLEMÁTICA DEL SUMINISTRO DEL AGUA.

“Debido al crecimiento desmedido de la zona metropolitana y a partir de las dotaciones actuales y para alcanzar una cobertura del 99%, los requerimientos de agua serán de 71.5 m³/s, lo que representa un incremento de 12.5 m³/s, la disponibilidad será, en términos generales ligeramente superior a la necesidad.”

Sin embargo, de persistir las condiciones actuales en el abastecimiento, distribución y comercialización del servicio, en el futuro mediano se agravarán los efectos de la explotación del acuífero; el hundimiento de gran parte de la ciudad; el deterioro en la calidad del agua extraída y la desigualdad en la distribución de caudales. También se incrementarán los costos de operación y mantenimiento y aumentarán el subsidio del servicio, así como el desperdicio del recurso por parte de los usuarios, lo que disminuirá la cobertura y calidad del mismo.

Con respecto a la problemática del suministro de agua y con el fin de reducir los efectos colaterales asociados a la explotación del acuífero del Valle de México, se debe disminuir el caudal de extracción en la medida que las fuentes externas del Valle incorporen caudales adicionales y las acciones de uso eficiente lo permitan, de tal forma que en 20 años se logre reducir la extracción actual en 24 m³/s, para mantener en equilibrio al acuífero, según se establece en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

1.2 USO DE AGUA RESIDUAL TRATADA POR AGUA POTABLE.

El uso de agua residual tratada es una medida eficaz para reducir la necesidad de agua potable. Actualmente las 21 plantas de tratamiento de aguas residuales que operan en el Distrito Federal producen 6250 l/s.

Como parte de la ampliación de infraestructura, se ha concluido el segundo módulo de 75 l/s con tratamiento terciario de la planta de San Luis Tlaxiátemalco y el tercero y cuarto módulos con capacidad de 1000 l/s cada uno de la planta Cerro de la Estrella; Además de haberse adicionado el tratamiento terciario para los cuatro módulos de la planta (con capacidad conjunta de 4000 l/s).

De manera complementaria, como parte del saneamiento básico de las zonas de recarga del acuífero, están en proceso de construcción de otras plantas de tratamiento terciario con una capacidad de 170 l/s en las delegaciones de Miguel Hidalgo y Tlahuac.

Para promover un mayor aprovechamiento del agua residual tratada en el Distrito Federal, durante los 90's se concesionó la planta de Acueducto de Guadalupe a los industriales de Vallejo y durante 1991, a los de Iztacalco la planta Ciudad Deportiva. En 1994 se concesionó las plantas de San Juan de Aragón y Coyoacán.

En el Estado de México, se producen 300 l/s de agua residual tratada, básicamente para el uso industrial. Además, el proyecto Lago de Texcoco cuenta con una planta de tratamiento a nivel secundario de 1000 l/s, que se destina fundamentalmente para mantener los niveles del lago Nabor Carrillo, cuya función principal es contribuir a recuperar el equilibrio ecológico en el Valle de México.



En el futuro se deberá aumentar la producción de agua residual tratada para intercambiar mas agua potable por agua residual en las industrias, comercios, servicios y en la agricultura, de tal manera que en el largo plazo se alcance el mayor caudal de reuso posible.

La mayoría de las aguas residuales de nuestro país están contaminadas con desechos orgánicos biodegradables, mismos que al no ser tratados permiten el desarrollo de microorganismos que se nutren de la materia orgánica y que son causantes de enfermedades para el ser humano.

Los aguas residuales sanitarias son potencialmente una fuente de enfermedades por posibles contaminaciones con microorganismos patógenos y parásitos. Esta agua después de recibir un tratamiento debe de ser desinfectadas previo a su descarga a los cuerpos receptores. Dentro de los microorganismos contenidos en las aguas residuales que provienen de desechos humanos que estén infectados o que son portadores de una determinada enfermedad. Se encuentran principalmente organismos patógenos tales como bacterias, virus y protozoos y los parásitos tales como los helmintos.

En la siguiente Tabla se presentan los más comunes:



Tabla 1. Organismos Patógenos y Parásitos más comunes.

ORGANISMO	ENFERMEDAD	COMENTARIO
Bacteria		
<i>Escherichia coli</i> (enteropatógena)	gastroenteritis	Diarrea
<i>Legionella pneumophila</i>	Legionelosis	Enfermedades respiratorias agudas
<i>Leptospira</i> (150 esp)	leptospirosis	<i>Leptospirosis</i> , fiebre (enfermedad de Weil)
<i>Salmonella typhi</i>	Fiebre tifoidea	Fiebre alta, diarrea, úlceras en el intestino delgado.
<i>Salmonella</i> (≅ 1700 esp)	Salmonelosis	Envenenamiento de alimentos
<i>Shigella</i> (4 esp)	Shigelosis	Disenteria bacilar
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera	Diarreas extremadamente fuertes, deshidratación
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Yersinosis	Diarrea
Virus		
Adenovirus (31 tipos)	Enfermedades respiratorias	
<i>Enterovirus</i> (67 tipos: poli, eco y virus coxsackie)	Gastroenteritis, anomalías cardíacas, meningitis	
Hepatitis A	Hepatitis infecciosas	Leptospirosis
Agente Norwalk	Gastroenteritis	Vómitos
Reovirus	Gastroenteritis	
Rotavirus	Gastroenteritis	
Protozoos		
<i>Balantidium coli</i>	Balantidiasis	Diarrea, disentería
<i>Cryptosporidium</i>	<i>Criptosporidiosis</i>	diarrea
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amibiasis (disentería amebica)	Diarreas prolongadas con sangre abscesos en el hígado y en el intestino delgado
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis	Diarrea, náuseas, indigestión
Helmintos		
<i>Ascaris lumbricoides</i>	<i>Giardiasis</i>	Infestación de gusanos
<i>Enterobius vermicularis</i>	<i>Enterobiasis</i>	Gusanos
<i>Fasciola hepatica</i>	Fasciolosis	Gusanos (tercera)
<i>Hymenolepis nana, hymenolepis diminuta</i>	Hymenolepiasis	Tenis enana, parásito de la rata y el ratón
<i>Taenia saginata</i>	Teniasis	Tenia (buey)
<i>Taenia solium</i>	Teniasis	Tenia (cerdo)
<i>Trichuris trichiura</i>	Trichuriasis	Gusanos
<i>Necator americanus</i>	Uncinariasis	Gusanos

¹ Remoción de Huevos de Helminto en Aguas Residuales por cinco Tecnologías Diferentes sobre el Sistema de Tratamiento Primario Avanzado. "Germán Salgado Velázquez", Instituto Tecnológico de Orizaba. Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, 1998, Orizaba, Ver. Pp: 16 a 29.



Estos patógenos y parásitos generalmente causan enfermedades del aparato intestinal como la fiebre tifoidea, paratifoidea, las diarreas, la poliomielitis, las helmintiasis y el cólera, entre muchas otras. Estos organismos son responsables de un gran número de muertes al año en países con escasos recursos sanitarios, especialmente en zonas tropicales. A continuación se describen con mayor detalle cada uno de los grupos:

1.2.1 BACTERIAS.

Las bacterias se pueden clasificar como *eubacterias procarióticas* unicelulares. En función de su forma, las bacterias se dividen en cuatro grandes grupos: esféricas, bastón, bastón curvado y filamentosas.

Las bacterias esféricas, que reciben el nombre de cocos tienen un diámetro aproximado de entre 1 y 3 micras. Las bacterias de forma de bastón, conocidas como bacilos, tienen tamaños muy variables, entre 0.5 micras y 2 micras de ancho por entre 1 y 10 micras de largo. Las bacterias del tipo de bastón curvado tienen dimensiones que pueden variar entre 0.6 y 1.0 micras de ancho y entre 2 y 6 micras de longitud. Las bacterias con forma de espiral pueden llegar a superar las 100 micras.

El papel que desempeña las bacterias en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en la naturaleza como en una planta de tratamiento, es amplio y de gran importancia. En el agua residual doméstica, la densidad y tipo de bacterias viables varía en función de la población que hizo uso del agua y dependen sobretodo de la prevalencia de enfermedades en la región. En este tipo de agua predominan los coliformes fecales, la *Escherichia coli*, organismos comunes en heces humanas, miden del orden de 0.5 micras de ancho por 2 micras de largo. El conteo de coliformes fecales en aguas residuales domésticas es de alrededor de 10^6 . En el agua de desecho industrial, la concentración de bacterias es escasa pero está rica en materia orgánica, lo que constituye un medio para una rápida multiplicación de bacterias y flora. Esto se demuestra por el conteo de coliformes totales en esta agua que es de alrededor de 10^7 por 100 ml solo cerca de una décima parte de ellos son coliformes fecales.

El agente microbiano causante de la enfermedad del cólera es el *Vibrio cholerae*. Este produce una sustancia que trastorna el balance isotónico del sistema digestivo causando una pérdida excesiva de fluidos. Si no se trata adecuadamente el cólera puede causar la muerte en 3 a 12 horas. La enfermedad puede ser contrastada por el reemplazamiento de líquidos por vía oral o intravenosa. No hay vacuna que imparta una inmunidad duradera.

Uno de los patógenos más comunes en las aguas residuales municipales es la bacteria del grupo de la salmonella, contiene un gran número de especies que pueden causar enfermedad en humanos y animales. Hay tres formas distintas de las salmonelosis en humanos: Las fiebres entéricas, las septicemias, y la gastroenteritis aguda. La fiebre entérica más severa provocada por salmonelosis es la fiebre tifoidea causada por la especie *Salmonella typhi*.

Con frecuencia se reportan algunas gastroenteritis de causa desconocida, se sospecha que la fuente potencial son agentes bacteriales gram-negativos, normalmente considerados no patógenos: el *Escherichia coli* y las pseudomonas al producir endotoxinas en el intestino delgado.



1.2.2 VIRUS.

Los virus son partículas parásitas formadas por un cordón de material genético ácido desoxirribonucleico (ADN) o ácido ribonucleico (RNA) con una capa de recubrimiento proteínico. No tiene capacidad para sintetizar compuestos nuevos. En lugar de ello, invaden las células del cuerpo vivo que los acoge y reconducen la actividad celular hacia la producción de nuevas partículas vírales a costa de las células originales. Cuando muere la célula original, se libera gran cantidad de virus que infectarán células próximas. Los virus afectan todos los organismos vivos desde bacterias hasta plantas, animales y humanos. De acuerdo a su supervivencia en el agua se puede clasificar en: No hídricos e hídricos.

No hídricos: los virus del resfriado común son incapaces de sobrevivir fuera del cuerpo humano y su transmisión a través del agua no ocurre. Muchos de los virus patógenos son miembros de la familia de los enterovirus, que se reproducen en el tracto intestinal. Con excepción de los de la hepatitis A, bajos niveles de enterovirus transmitidos por agua no contribuyen a la incidencia de una infección (IAWPRAC, 1991). Los reovirus y los adenovirus (virus que infectan el tracto respiratorio) son también considerados de menor importancia epidemiológica en agua.

Hídricos. Algunos virus pueden sobrevivir hasta 41 días tanto en aguas limpias como residuales a la temperatura de 20°C, y hasta 6 días en un río normal. En consecuencia algunos virus excretados por los seres humanos pueden representar un importante peligro para la salud pública. Cada gramo de heces de un paciente con hepatitis contiene entre 10000 y 100000 dosis de virus hepático, enfermedad fácilmente transmisible por el agua, (Metcalf & Eddy, 1991). Los rotavirus y otras especies no caracterizadas son considerados como importantes agentes causantes de gastroenteritis transmitidas por el agua.

1.2.3 PROTOZOARIOS.

Los protozoarios son microorganismos eucariotes cuya estructura esta formada por una sola célula. La mayoría de los protozoos son aeróbicos o quimioheterótrofos, anaerobios facultativos, aunque se conocen algunos anaerobios. Los protozoos de importancia sanitaria son los patógenos como las amibas, los flagelados y ciliados libres y fijos. Los protozoos en general se alimentan de bacterias y otros microorganismos microscópicos. Tienen una importancia capital, tanto en el funcionamiento de las plantas de tratamiento biológico como en la purificación de los cursos de agua ya que intervienen para mantener el equilibrio natural de los diferentes tipos de microorganismos responsables de los procesos.

En el agua de suministro es importante controlar la presencia de *Giardia lamblia* (responsable de la *giardiasis* o enfermedad de Hickers) y del *Cryptosporidium*, como agente causante de infecciones potencialmente mortales para pacientes con inmunodeficiencia adquirida. A nivel mundial, son más comunes las infecciones causadas por *Entamoeba histolytica* que es responsable de la disentería amebica y la hepatitis amebica. Ante condiciones adversas en el ambiente muchos protozoos pueden adoptar la forma de quistes. Que son una forma no vegetativa que tiene la facultad de revertirse hacia una célula cuando las condiciones son favorables.



1.2.4 HELMINTOS.

El término helmintos, significa gusano y originalmente se usó para denominar a los gusanos intestinales, pero en un sentido más amplio incluye especies parasitarias y de vida libre de gusanos redondos, gordiáceos, turbelaridos, trematodos y cestoides.

Los animales pluricelulares que parasitan al hombre comúnmente son conocidos como helmintos y pertenecen al *phylum de Platyhelminthes* y *Nemathelminthes*. Los helmintos poseen células organizadas en tejidos y órganos especializados para las distintas funciones vitales, tales como digestión, excreción, circulación, conducción nerviosa, etc.

La helmintiasis y su importancia sanitaria.

Las helmintiasis son las enfermedades más comunes de la humanidad. Se sabe que más de 1000 millones de individuos en el mundo están infectados por *Ascaris lumbricoides*, unos 800 millones por uncinarias y aproximadamente 500 millones de tricocéfalos.

Los factores que intervienen en la transmisión de enfermedades para determinar el riesgo dependen de:

- La dosis efectiva del organismo que llega al lugar de contacto (campo agrícola) y su multiplicación en dicho hasta alcanzar una dosis infectiva.
- Persistencia del organismo por periodos prolongados de tiempo en el medio ambiente.
- La dosis infectiva.
- El estado de salud de la persona.
- Las características de la enfermedad.
- Existencia de una transmisión simultánea por medio de otras vías, como los alimentos, el agua y malos hábitos de higiene personal o doméstica.

En la siguiente tabla se presenta el riesgo sanitario por la presencia de organismos patógenos en aguas residuales destinadas para el riego agrícola. Se observa que este se considera elevado tanto para nemátodos intestinales, trematodos y cestodos, incluso, superan a las bacterias y virus. Esta conclusión se deriva de la resistencia que presentan los huevos de helmintos al ambiente.



Tabla 2. Tipos de Organismos

TIPO DE ORGANISMO E INFECCIÓN	ORDEN DE RIESGO
Nemátodos intestinales Ascaris Spp. Trichuris Spp. Anquilostomas.	Elevado
Bacterias Diarreas bacterianas (Como cólera, fiebre tifoidea)	Menor
Virus Diarreas viricas Hepatitis A	Mínimo
Tremátodos y céstodos Esquistosomiasis Clonorquiasis Teniasis	De elevado a nulo según el método de reuso y características locales

Las helmintiasis intestinales representan un importante problema de salud pública en México. Por ejemplo, la frecuencia de infección por *Ascaris Lumbricoides* varía entre 43% a 94% en población rural. Las uncinariasis se han encontrado entre 6 a 95% de la población en áreas tropicales, principalmente en zonas costeras. *Trichuris trichiura* y por *Strongyloides* se han reportado hasta en 95 y 26 respectivamente de las poblaciones estudiadas, ambas parasitosis se asocian en desnutrición.

1.3 AGUA POTABLE:

Debido a que el agua potable es utilizada directamente para consumo humano, es de vital importancia garantizar la calidad bacteriológica de la misma con el fin de preservar la salud de los consumidores. El agua destinada a la bebida y a la preparación de alimentos debe estar exenta de organismos capaces de provocar enfermedades y de cualquier mineral y sustancia orgánica que puedan producir efectos fisiológicos perjudiciales. Para fomentar el consumo de este líquido, el agua debe ser aceptable desde el punto de vista estético; por ejemplo, debería estar exenta de turbidez, color y olor perceptibles, así como de cualquier sabor desagradable. El agua de bebida debe tener también una temperatura razonable. Esta agua recibe la denominación de *potable*, lo que significa que puede consumirse en cualquier cantidad sin provocar efectos perjudiciales sobre la salud. Los Criterios de calidad de agua para consumo humano, están indicadas en la Norma Oficial Mexicana 127- SSA1 - 1994.



CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO DE LA DESINFECCIÓN DEL AGUA.

2.0 LA IMPORTANCIA DE LA DESINFECCIÓN.

La desinfección del agua se ha venido practicando durante varios milenios, aunque, claro esta, durante muchos siglos no se conociese nada, o tal vez solo muy poco, de los principios involucrados en su acción beneficiosa sobre la calidad de las aguas. Los estudios históricos ponen de manifiesto que ya quinientos años antes de nuestra era se recomendaba que el agua se hirviese, aunque algunos historiadores sugieren que este procedimiento se empezó a emplear desde los albores de la civilización.

Hasta que la teoría de la transmisión de las enfermedades por gérmenes se confirmó en la penúltima década del pasado siglo XVIII se creía que los olores eran los agentes transmisores de las enfermedades, y se sostenía que, por tanto, el control de los mismos limitaría la propagación de las infecciones. Por consiguiente, partiendo de este postulado erróneo se desarrollaron las técnicas de desinfección tanto del agua como de los residuos sanitarios.

En la actualidad se considera que los procesos de desinfección del agua implican un tratamiento especializado, dirigido a la destrucción de organismos perjudiciales o simplemente indeseables. Clásicamente, los procesos de desinfección se han empleado con la finalidad de destruir o inactivar los organismos (patógenos) productores de enfermedades y, muy especialmente, las bacterias de origen intestinal. Los organismos que puedan existir en el agua pueden sobrevivir durante semanas cuando se mantienen a temperaturas de 21°C, o, posiblemente, durante meses, cuando las temperaturas son inferiores a las citadas. Además del factor de temperatura, la supervivencia depende de factores ambientales, fisiológicos y morfológicos, entre los que figuran el pH, oxígeno y la dilución del suministro de materias nutritivas; la competencia con otros organismos, la resistencia a las influencias tóxicas, la capacidad para formar esporas, etc. La facultad de los organismos de provocar enfermedades en los hombres depende de su virulencia, concentración, modo de ingestión por el hombre y resistencia de este.

La desinfección del agua involucra también la destrucción de los organismos causantes de las enfermedades, distintos a las bacterias intestinales, aunque no implica necesariamente la destrucción completa de todos los organismos vivos, por ejemplo, la esterilización. Los procesos de desinfección del agua raras veces se prosiguen hasta el punto de esterilización ya que esta, se limita casi exclusivamente a la práctica médica.

En relación con la desinfección del agua, los organismos productores de enfermedades (distintos a las bacterias) que deben tenerse en cuenta incluyen una gran variedad de virus, protozoos intestinales y algunos microorganismos. Además, muchos organismos molestos, de un obvio significado estético y económico, ya sean vegetales o animales, son vulnerables en ocasiones a los procesos de desinfección y pueden controlarse parcial o totalmente procediendo al tratamiento adecuado. En lo que respecta a la desinfección, entre los factores que afectan a la supervivencia de estos organismos en el agua son importantes su resistencia natural o impuesta a los desinfectantes. (por ejemplo, protección por las algas, materiales en suspensión, tubérculos, etc.)



2.1 EFICACIA DE LA DESINFECCIÓN.

Entre los factores principales que ejercen influencia en la eficacia de la desinfección y, por consiguiente, en el tipo de proceso empleado en el tratamiento del agua, pueden citarse los siguientes:

- 1) Tipo y concentración de los organismos que deben destruirse.
- 2) Tipo y concentración del desinfectante.
- 3) Tiempo de contacto establecido.
- 4) Características químicas y temperaturas del agua que se va a tratar.

La resistencia de dichos factores y de diversos tipos de organismos a un producto químico o agente específico desinfectante varía considerablemente. Por ejemplo, las bacterias que no forman esporas son menos resistentes que las que lo hacen (aunque, por regla general, estas últimas tienen una importancia sanitaria muy inferior). Por otra parte, los quistes y virus son, en ocasiones, bastante resistentes, aunque se registran grandes variaciones entre los mismos y sus distintas especies y subespecies, lo que determina que requieran tratamientos de tipos o grados distintos de los que hay que aplicar, por ejemplo, a la mayor parte de las bacterias vegetativas. La concentración de los organismos es significativa, si tan solo se considera que cuando existe números elevados de estos en un volumen dado (densidad) ello puede dar lugar a una demanda insatisfecha; la aglomeración o aglutamiento de los organismos puede constituirse en una barrera contra la penetración adecuada del desinfectante. En la práctica no suele observarse una diferencia significativa entre el amontonamiento de los organismos que se encuentran en concentraciones elevadas o bajas.

Se sabe que no existen dos desinfectantes que tengan la misma capacidad germicida en unas condiciones determinadas. En algunos casos la reacción del material con el agua puede conducir a la formación de compuestos de una eficacia desinfectante variable; a veces, dichos compuestos son totalmente ineficaces desde el punto de vista de la desinfección. La destrucción de una especie de organismo por un desinfectante determinado (siempre que los demás factores sean constantes) es proporcional a la concentración de dicho desinfectante y al tiempo de reacción; la eficacia del desinfectante disminuye a medida que aumenta su dilución y decrece el tiempo de contacto a concentraciones bajas y tiempo de contacto largos. Puede ser suficiente, mientras que si dichos tiempos son más cortos la concentración del desinfectante deberá elevarse para lograr un índice de destrucción equivalente.

2.2 MEDIOS DE DESINFECCIÓN.

El agua puede desinfectarse recurriendo a diversos medios. Excepción hecha de aquellos procesos de tratamiento que producen la eliminación parcial de organismos potencialmente infecciosos o simplemente indeseables (tal como la sedimentación, coagulación, filtración, etc.), los procesos de desinfección más específicos que hoy se emplean incluyen uno de los siguientes tratamientos o una combinación de varios de ellos:

- 1) Tratamiento físico, como, por ejemplo, recurriendo al almacenamiento o a la aplicación de calor u otros agentes físicos.
- 2) Radiación, como, por ejemplo, con luz ultravioleta.
- 3) Los Iones Metálicos, tales como el cobre y la plata.



- 4) Los álcalis y ácidos.
- 5) Los productos químicos tensoactivos, tales como los compuestos de amonio cuaternario.
- 6) Los oxidantes, tales como los halógenos, ozono y otros materiales inorgánicos y orgánicos.

Los criterios para valorar y seleccionar los desinfectantes potenciales del se enlistan a continuación:

- 1) Aptitud del desinfectante para destruir las clases y el número de los organismos presentes dentro del tiempo de contacto disponible, la gama de temperaturas del agua existentes y las fluctuaciones previstas en la composición, concentración y condición del agua tratada.
- 2) Disponibilidad pronta y fiable del desinfectante a un costo razonable y su aplicación conveniente, segura y exacta.
- 3) Capacidad del desinfectante, en las concentraciones empleadas, para lograr los objetivos deseados sin producir en el agua propiedades tóxicas o desagradables, tanto desde el punto de vista estético como de otros cualesquiera en función de la finalidad que se persigue.
- 4) Capacidad del desinfectante para permanecer en concentraciones residuales para evitar cualquier posibilidad de recontaminación cuando esta pudiera ser importante, como en el caso de los sistemas de distribución de agua potable.
- 5) Adaptabilidad de técnicas de valoración prácticas, reproducibles, rápidas y exactas para determinar la concentración de desinfección, para el control operativo del proceso de tratamiento y como medida de la eficacia desinfectante.

La desinfección puede realizarse aplicando métodos físicos (temperatura, luz ultravioleta), químicos en los que se usan sustancias llamadas desinfectantes (cloro, ozono y iones metálicos) y radiación.

Los productos químicos utilizados como desinfectantes son los siguientes: cloro y sus compuestos, bromo, yodo, ozono, fenol y compuestos fenólicos, alcoholes, metales pesados, colorantes, detergentes, agua oxigenada, ácidos y álcalis. Los productos más empleados son el cloro y sus compuestos, ozono y agua oxigenada.

Los agentes físicos, son el calor, la luz y la radiación ultravioleta.

La desinfección por radiación se realiza fundamentalmente por radiación electromagnética de rayos gamma. La radiación gamma se utiliza tanto para desinfectar y esterilizar las aguas residuales potables.



Tabla 3. Comparación de las características ideales y prácticas de los desinfectantes químicos.

Características	Desinfectante ideal	Cloro	Hipoclorito de sodio	Hipoclorito de calcio	Dióxido de cloro	Ozono
Toxicidad para los Microorganismos Solubilidad	Debe ser altamente tóxico A disoluciones elevadas Debe ser soluble en agua o Tejido celular	Alta Ligera	Alta Alta	Alta Alta	Alta Alta	Alta Alta
Estabilidad	La pérdida de acción germicida con el tiempo debe ser baja	Estable	Ligeramente Inestable	Relativamente estable	Inestable, debe generarse a medida que se consume	Inestable, debe generarse a medida que se consume
No tóxico para las formas más elevadas de vida	Debe ser tóxico para los microorganismos y no tóxico para el hombre y otros animales	Altamente Tóxico para formas más elevadas de vida	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico
Homogeneidad	La disolución debe ser uniforme en composición	Homogéneo	Homogéneo	Homogéneo	Homogéneo	Homogéneo
Interacción con Materias Extrañas	No debe ser adsorbido por otra materia orgánica que las células bacterianas	Oxida la materia Orgánica	Oxidante activo	Oxidante activo	Alta	Oxida la materia Orgánica
Toxicidad a temperatura ambiente	Debe ser efectivo dentro del intervalo de la temperatura ambiente	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta
Penetración	Debe tener la capacidad de penetrar a través de las superficies	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
No corrosivo y no colorante	No debe atacar los metales ni teñir la ropa	Altamente Corrosivo	Corrosivo	Corrosivo	Altamente Corrosivo	Altamente Corrosivo
Capacidad descolorizante	Debe desodorizar al tiempo que desinfecta	Alta	Moderado	Moderado	Alta	Alta
Disponibilidad	Debe estar disponible en grandes cantidades y a un precio razonable	Costo Bajo	Costo moderadamente bajo	Costo moderadamente bajo	Costo moderado	Costo alto



Un desinfectante ideal para el agua debe cumplir con las siguientes propiedades:

- Destruir todas las clases y cantidades de agentes patógenos.
- No ser tóxico para el hombre ni para los animales domésticos.
- No tener un sabor desagradable.
- Tener un costo razonable.
- Ser de manejo, transporte, almacenamiento y aplicación seguros y fáciles.
- Proporcionar protección residual contra la posible contaminación en las líneas de conducción y tanques de almacenamiento.
- No reaccionar con los compuestos presentes en el agua para producir sustancias tóxicas.

2.3 MECANISMOS DE ACCIÓN DE LOS DESINFECTANTES.

Se han propuesto los cuatro siguientes mecanismos para explicar la acción de los desinfectantes:

- 1) Daño en la pared celular.
- 2) Alteración de la permeabilidad de las células.
- 3) Alteración de la naturaleza coloidal del protoplasma.
- 4) Inhibición de la actividad enzimática.

El daño o destrucción de la pared celular da lugar a la lisis celular y a la muerte de la célula. Algunos agentes, tales como la penicilina, inhiben la síntesis de la pared celular de las bacterias.

Los agentes tales como los compuestos fenólicos y detergentes alteran la permeabilidad de la membrana citoplásmica. Estas sustancias destruyen la permeabilidad selectiva de la membrana y permiten que nutrientes vitales, tales como el nitrógeno y el fósforo escapen de la célula. El calor, la radiación y los agentes fuertemente ácidos o alcalinos alteran la naturaleza coloidal del protoplasma. El calor coagula la proteína celular y los ácidos o bases desnaturalizan las proteínas, produciendo un efecto letal.

Otro modo de desinfección consiste en la inhibición de la actividad enzimática. Los agentes oxidantes, tales como el cloro, pueden alterar la estructura química de las enzimas dando lugar a su inactivación.

2.4 CONDICIONES DE OPERACIÓN.

Los principales factores que influyen en la acción de un desinfectante son:

- Tiempo de contacto.
- Tipo y concentración de agente químico.
- Intensidad y naturaleza de los agentes físicos.
- Temperatura.
- Número y tipo de organismos presentes en el agua.
- Naturaleza del medio líquido.



El tiempo de contacto es comúnmente señalado como la variable más importante en la desinfección y se estableció que existe una relación inversamente proporcional entre el número de microorganismos a la acción de sobrevivientes en un desinfectante y el tiempo de contacto. Dependiendo del tipo de agente químico, se ha observado que su eficiencia es función de su concentración. El tipo de microorganismo también influye en la eficiencia de la desinfección, por ejemplo, las esporas de las bacterias son mucho más resistentes que las bacterias en crecimiento. La eficiencia de desinfección de los agentes físicos es una función de la intensidad, análogo a la concentración de los agentes químicos. Por ejemplo, para controlar a los microbios por temperatura es necesario elevarla hasta 100 °C; en el caso de la luz ultravioleta el factor determinante es la cantidad de energía aplicada por unidad de superficie.

2.5 TEORÍA DE LA DESINFECCIÓN.

En general, la tasa de mortalidad de los microorganismos obedece a la siguiente Ley de Chick:

$$\frac{dN}{dt} = -KN$$

donde,

K = constante de velocidad de reacción para un desinfectante determinado.

N = número de organismos viables.

t. = tiempo de contacto.

La Ley de Chick, establece que la rapidez con que disminuye la cantidad de microorganismos es proporcional al número de ellos.

Integrando,

$$\ln\left(\frac{N_t}{N_o}\right) = -Kt$$

o,

$$\log\left(\frac{N_t}{N_o}\right) = -kt$$

donde:

N_o = número inicial de organismos.

N_t = número de organismos para el tiempo t.

k. = 0.4343 K

además,



$$t = \frac{1}{k} \log\left(\frac{N_o}{N_t}\right)$$

Puesto que N_t nunca alcanzará un valor igual a cero, es normal especificar la mortalidad como un porcentaje, es decir 99.9%. La constante de reacción dependerá de cada desinfectante, de la concentración del desinfectante, la temperatura, el pH y otros factores ambientales.

La desinfección con cloro no obedece a la Ley de Chick, la relación aplicable para este producto químico es la siguiente:

$$\frac{dN}{dt} = -KNt$$

Integrando y cambiando a base 10 se obtiene:

$$t^2 = \frac{2}{k} \log\left(\frac{N_o}{N_t}\right)$$

Para pH = 7;

k. = 1.6×10^{-2} para residuales de cloro libre

k. = 1.6×10^{-5} para residuales de cloro combinado

Resumiendo, la tasa de desinfección con cloro es función del tiempo de contacto, del número y clase de organismos, de la dosis de cloro, del tipo de residual de cloro, del pH y de la temperatura, principalmente.



CAPÍTULO 3

MÉTODOS DE DESINFECCIÓN

Históricamente la desinfección más utilizada en el agua potable o en las aguas residuales tratadas ha sido por métodos de cloración, debido a que presenta ventajas sobre los demás métodos de desinfección.

Desinfección es la destrucción de organismos potencialmente dañinos y comúnmente, constituye la etapa final de todo tratamiento del agua. En las plantas de tratamiento debe ponerse especial atención en la selección de esta etapa para evitar la formación de compuestos no deseados. Por ello, se presenta un resumen de las opciones posibles. Se debe diferenciar entre la desinfección y la esterilización, ya que esta última implica la destrucción total de los organismos, mientras que la primera implica la destrucción de microorganismos que, por ingestión, pueden producir enfermedades en los hombres o en los animales.

3.0 CLORACIÓN.

La popularidad del cloro como desinfectante se debe a las razones siguientes:

- Existe disponible como gas, líquido o en forma granular.
- Es relativamente barato.
- Es fácil de aplicar por cuanto es relativamente de solubilidad alta aproximadamente 7000 mg/ l a 20 °C y presión atmosférica. Sin embargo, a temperaturas menores de 9.6 °C se combina con agua para formar un sólido cristalino, hielo de cloro o $\text{Cl}_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$; y a 100°C y 1 atmósfera de presión es insoluble.
- En concentraciones que son insaboras e inocuas para consumo humano deja un residual en solución, el cual provee protección sanitaria en el sistema de distribución.
- Tener una alta característica de toxicidad para los microorganismos causantes de enfermedades hídricas.
- Es un agente oxidante poderoso.

Entre sus desventajas se señalan:

- Es un gas venenoso que requiere manejo cuidadoso.
- Es altamente corrosivo en disolución.
- Forma con los fenoles clorofenoles, los cuales dan origen a problemas serios de olores.
- Forma con algunas sustancias orgánicas trihalometanos, de los cuales el cloroformo es de máximo interés por sospecharse que es un agente cancerígeno.

3.0.1 QUÍMICA DE LA CLORACIÓN.

El cloro ha sido usado principalmente como desinfectante para el control de microorganismos en aguas de consumo, aguas residuales, piscinas, lodos, etc. Así como oxidante para la oxidación del hierro y manganeso; Para control de olores y sabores, oxidación de sulfuros, remoción de amoníaco y color orgánico y oxidación de cianuros.

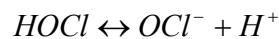


En la purificación y tratamiento de aguas el cloro se usa como gas generado a partir de la vaporización de cloro líquido almacenado bajo presión en cilindros; Como líquido, comúnmente hipoclorito de sodio y como sólido, comúnmente hipoclorito de alto grado, HTH, o hipoclorito de calcio, $\text{Ca}(\text{OCl})_2$.

Tanto el cloro elemental gaseoso como el líquido reaccionan con el agua de la siguiente forma:



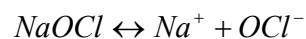
Para concentraciones de cloro menores de 1000 mg/L, caso general en la práctica, la hidrólisis es prácticamente completa si el pH es mayor de 3. Como puede observarse en la ecuación anterior, la adición de cloro gaseoso al agua bajará su alcalinidad y consecuentemente su pH debido a la producción del ácido fuerte, HCl, y del ácido hipocloroso, HOCl. El ácido hipocloroso se ioniza para formar ion hipoclorito:



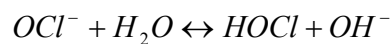
La disociación del ácido hipocloroso depende de la concentración de ion hidrógeno, o sea del pH. A pH de 6 o menor la disociación del HOCl se inhibe; el residual es predominantemente HOCl; a pH igual a 7.7 los residuales de HOCl y OCl^- son aproximadamente similares y a pH igual o mayor que 9.0 casi todo el residual es OCl^- .

Las especies HOCl y OCl^- en el agua constituyen lo que se denomina cloro libre disponible o residual de cloro libre. El ácido hipocloroso HOCl es el desinfectante más efectivo; El ion hipoclorito es relativamente inefectivo en comparación con él ácido hipocloroso; por ello, la desinfección más letal con cloro ocurre a pH bajo, o sea en medio ácido. En general se considera que el HOCl es 80 a 100 veces más efectivo que el OCl^- para exterminar E. coli.

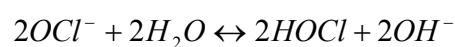
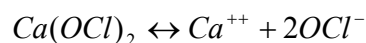
Si el cloro se dosifica como hipoclorito de sodio se tiene:



Y,



En este caso se presentara un incremento de la alcalinidad, dependiente de la magnitud con que el OCl^- reaccione con el agua. Finalmente, si el cloro se agrega como hipoclorito de calcio, HTH, se tiene:

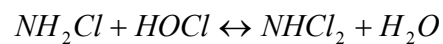




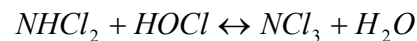
El efecto será, entonces, un aumento tanto de la alcalinidad como de la dureza total del agua. Si existe amoníaco, el ácido hipocloroso reaccionará con el para producir monocloramina, dicloramina y tricloramina.



Monocloramina



Dicloramina



Tricloramina

Todo el cloro presente en el agua de cloraminas es lo que se conoce como cloro combinado o residual de cloro combinado. Dependiendo de la dosis, del pH, de la alcalinidad de amoníaco, del tiempo de contacto y de la temperatura, el cloro eventualmente oxida el amoníaco en nitrógeno gaseoso, nitrato y otros compuestos de nitrógeno. Entre pH 4.5 y 8.5 se forman mono y dicloraminas. Teóricamente, a temperaturas ambiente y pH mayor de 8.5 existen solamente monocloraminas, y a pH alrededor de 4.5 existen solamente dicloraminas.

El tricloruro de nitrógeno se produce cuando el pH es menor de 4.4. Los residuales de cloro combinado son más estables que los residuales libres, pero menos efectivos como desinfectantes. Para una mortalidad determinada, con residual constante, las formas de cloro combinado requieren un tiempo de contacto cien veces mayor que el requerido por el residual libre. A la vez, en un tiempo de contacto constante, la concentración de residual combinado debe ser 25 veces la concentración de residual libre para producir la mortalidad deseada.

Algunos autores consideran que la efectividad del ion hipoclorito, OCl^- , es cien veces menor que la del ácido hipocloroso, $HOCl$; la de la monocloramina, NH_2Cl , 150 veces menor; la de la dicloramina, $NHCl_2$, 80 veces menor, y la tricloramina, NCl_3 , es posiblemente más efectiva que la dicloramina.



Tabla 4. Efectividad bactericida de residuales de cloro.

Tipo de residual	Fórmula	Efectividad relativa
Ácido hipocloroso	HOCl	1
Ión hipoclorito	OCI ⁻	1/100
Tricloramina	NCl ₃	Posiblemente > 1/80
Dicloramina	NHCl ₂	1/80
Monocloramina	NH ₂ Cl	1/150

El cloro tiene una fuerte afinidad por varios compuestos, particularmente por los agentes reductores. En estas reacciones, manifiesta una gran tendencia a perder sus electrones y formar el ión cloruro o compuestos organoclorados. Las sustancias con las cuales reaccionan frecuentemente son Fe, Mn, NO₂, H₂S, así como la mayor parte de los compuestos orgánicos presentes.

Las reacciones con los compuestos inorgánicos son en general rápidas, en cambio, las que se llevan a cabo con los compuestos orgánicos son muy lentas y su grado de desarrollo depende de la cantidad de cloro disponible.

En las aguas residuales reduce temporalmente el número de bacterias así como la demanda de oxígeno en un 10 a 40% según los distintos tipos de aquellas y disminuye la producción de anhídrido carbónico, abatiendo la turbiedad y modificando el potencial de oxidación-reducción. La cloración de las aguas residuales tiene por objeto proteger los abastecimientos públicos, la pesca, los baños y las playas.

Esta práctica evita el desarrollo de vegetación en las atarjeas, inhibe la putrefacción de los lodos, facilita la eliminación de las grasas, contribuye al tratamiento de algunos residuos industriales, combate la formación de espumas en los tanques de digestión e impide los malos olores. La acción del cloro sobre el ser humano es nula cuando se ingiere en pequeñas cantidades, hasta de 50 ppm durante cortos períodos de tiempo. En el agua para beber, el cloro libre le comunica sabor cuando su contenido es superior a 0.1-0.2 mg/L.

Aparte del olor característico del cloro, la cloración del agua puede originar olores y sabores desagradables, debidos a la formación de clorofenoles, cuando el agua contiene trazas de fenoles, este sabor es perceptible en concentraciones del orden de 0.0002 mg/L.

Como se mencionó, la oxidación de las materias orgánicas por el cloro no es instantánea, por ello es que el tiempo de contacto es un factor esencial para la aplicación del cloro. Para lograr una desinfección eficaz, la cloración deberá sobrepasar el nivel del índice de cloro. El exceso se neutraliza a continuación teniendo siempre en cuenta el factor tiempo de contacto ya que si éste es insuficiente, la eficacia de la depuración disminuye sensiblemente.

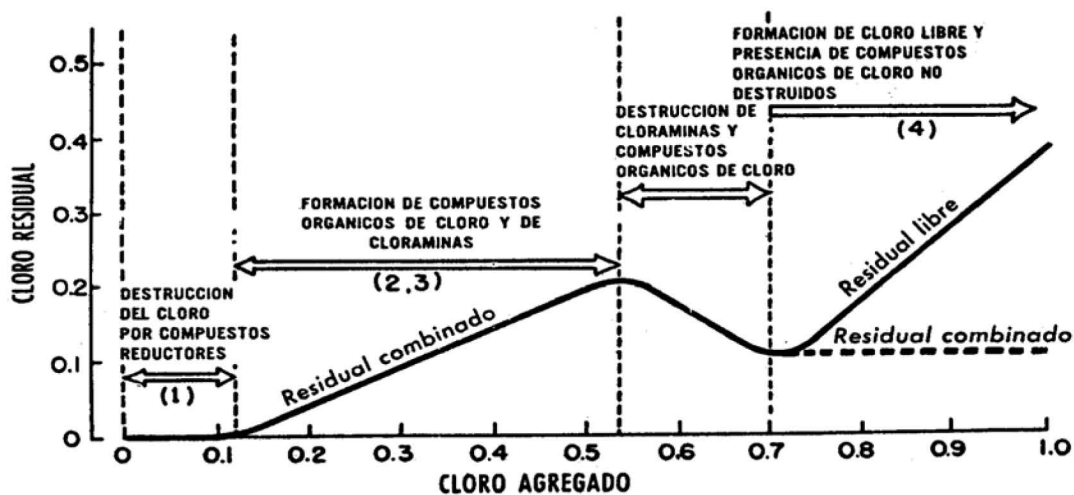


La cantidad de cloro libre a utilizar que debe emplearse en la desinfección del agua, se determina mediante los métodos del índice o demanda del cloro y el punto de quiebre o ruptura. La demanda del cloro, es la cantidad mínima de cloro necesaria para tratar un agua considerando la existencia de cloro libre al cabo de un tiempo determinado, generalmente dos horas. La diferencia entre la demanda y la dosis de cloro libre se llama cloro eficaz.

3.0.2 CLORACIÓN AL PUNTO DE QUIEBRE (BREAKPOINT.)

La cloración al punto de quiebre, es el proceso de cloración de las aguas con la cantidad de cloro suficiente para producir dos efectos importantes: la presencia de cloro residual libre (lo que nos permite la desinfección total con toda seguridad) y la eliminación del nitrógeno de las aguas. Debido al elevado poder oxidante del cloro y sus compuestos al añadir cloro a un agua residual se produce la oxidación de las sustancias fácilmente oxidables que contenga el agua, transformándose el cloro en ión cloruro, en consecuencia no existirá cloro residual mientras se mantengan estas reacciones. Cuando todas las sustancias fácilmente oxidables han reaccionado, empieza la reacción con el amoníaco, formando las cloroaminas y, en consecuencia, tendremos en las aguas un cloro combinado disponible; si se va incrementando la dosis de cloro, la monocloramina y la dicloroamina se transforma en tricloruro de nitrógeno, óxido nitroso y nitrógeno, reduciéndose el cloro a ión cloruro.

La dosis de cloro necesaria para que todas las cloraminas se oxiden a óxido nitroso y nitrógeno es lo que se denomina breakpoint. El cloro residual combinado en este punto, procede de los compuestos organoclorados no destruidos. La adición de cloro más allá del breakpoint da como resultado un aumento directamente proporcional del cloro libre disponible. A la cantidad de cloro que debe añadirse para alcanzar un nivel deseado de cloro residual, se llama demanda de cloro. El intervalo de pH óptimo para eliminación del nitrógeno está entre 6 y 7.



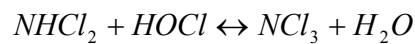
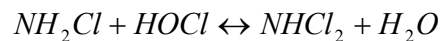
REACCIONES DEL CLORO EN EL AGUA³

³ (Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York; (1980). Manual de Tratamiento de Aguas)

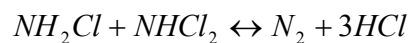
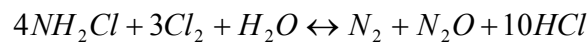


Las reacciones que tienen lugar durante todo el proceso de cloración son las siguientes:

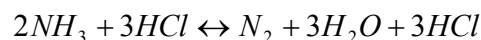
- Formación de Cloroaminas:



- Oxidación de Cloroaminas:



Podría considerarse una reacción global de destrucción del amoníaco como la siguiente:



Si expresamos el amoníaco como nitrógeno (N) y el ácido hipocloroso como gas cloro (Cl₂), teniendo en cuenta que dos moles de amoníaco reaccionan con tres moles de ácido hipocloroso, la reacción en el breakpoint necesitaría una relación de cloro a amoníaco nitrogenado de 7,6 : 1. En la práctica, debido a las diferentes reacciones que hemos descrito y que se pueden realizar, la relación se encuentra entre 8 : 1 y 10 : 1.

Se han realizado estudios en aguas con las mismas concentraciones de DBO, DQO y nitrógeno, viendo que la efectividad del proceso de cloración varía sustancialmente de unas plantas a otras. Unos ensayos realizados por Sung reportados en el libro², en el que estudio las características de los compuestos que se hallan en el agua residual tratada y no tratada, le llevaron a las siguientes conclusiones:

² Ingeniería Ambiental, Contaminación y Tratamientos
Ramón Sansfonría y Joan de Pablo Ribas



- En presencia de compuestos orgánicos que interfieren el proceso, el cloro residual total no puede utilizarse como medida fiable para la evaluación de la eficacia bactericida del cloro.
- El grado de interferencia de los compuestos orgánicos depende de sus grupos funcionales y de su estructura.
- Los compuestos saturados y los carbohidratos ejercen una pequeña o nula demanda de cloro y no parecen interferir en el proceso de cloración.
- Los compuestos orgánicos con enlaces no saturados pueden ejercer una demanda inmediata de cloro dependiendo de sus grupos funcionales. En algunos casos, los compuestos resultantes pueden aparecer en los análisis como cloro residual y, sin embargo, poseer poco o nulo potencial de desinfección.
- Los compuestos con anillos policíclicos que contienen grupos de hidróxido y compuestos que contienen grupos de azufre reaccionan fácilmente con el cloro para formar compuestos que tienen pequeño o nulo potencial bactericida, pero que aparecen en los análisis como cloro residual.
- Para lograr reducciones elevadas del contenido de bacterianos en presencia de compuestos orgánicos que interfieren el proceso, se requerirán dosis adicionales de cloro y tiempos de contacto mayores.

3.0.3 REACCIONES DE DEMANDA DE CLORO.

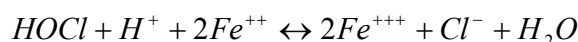
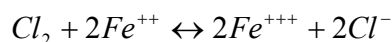
Luz Solar.

Las soluciones de cloro no son estables cuando se exponen a la luz solar; la radiación ultravioleta provee energía para la reacción del cloro con el agua; de ahí su consumo en gran cantidad en espacios abiertos, por ejemplo en piscinas. Esto también explica el porqué de la pérdida de concentración en las soluciones de cloro almacenadas en botellas de vidrio claro.



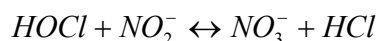
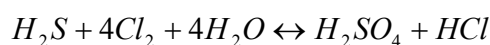
Reacción con Sustancias Inorgánicas.

El cloro, como agente oxidante poderoso, se combina rápidamente con los sulfuros, H_2S , NO_2 , Mn^{++} , Fe^{++} , NH_3 .

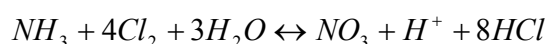


Las dos reacciones anteriores, por ejemplo, ocurren casi instantáneamente a un pH cercano o mayor de 7.0

Las reacciones del cloro con $S^{=}$ y NO_2 siguen la misma tendencia anterior. La reacción con Mn^{++} ocurre solamente a pH mayor de 8.5.



Para oxidación del amoníaco a nitrato la reacción es:

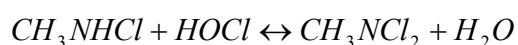
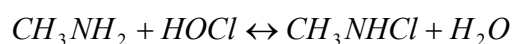


Reacciones con Nitrógeno Orgánico.

El cloro reacciona fácilmente con muchos compuestos orgánicos de nitrógeno de la misma manera que lo hace con el amoníaco. Son comunes las reacciones con las aminas orgánicas o compuestos con el grupo $-NH_2$, $-NH-$, $O-N =$ como parte de su molécula.

La reacción del cloro con el nitrógeno orgánico es importante porque ejerce una demanda que es necesario satisfacer para lograr un nivel apropiado de desinfección. El cloro en los compuestos formados con el nitrógeno orgánico no pierde, en ningún caso, su capacidad oxidante; sin embargo, deja de ser tan potente como el ácido hipocloroso o la monocloramina como desinfectante. Algunos de dichos compuestos son medidos como cloro residual en los procedimientos utilizados para el efecto.

Un ejemplo típico de reacción del cloro con un compuesto orgánico de nitrógeno es de la reacción con metilamina para formar clorometilamina y diclorometilamina.



3.0.4 EQUIPOS.

Existen dos formas de aplicación de cloro, como elemento gaseoso o como hipoclorito, el empleo de cloro gaseoso se restringe a instalaciones que cuenten con medidas de seguridad para el manejo del gas, ya que este se aplica a presión utilizando inyectores de vacío. El hipoclorito se aplica mediante bombas dosificadoras, su empleo requiere de la existencia de cámaras de mezclado.

Comparando dos tipos de mezcladores uno rápido y otro de difusión convencional se encontró que el cloro es activo durante los primeros 30 segundos de mezclado, por lo que conviene un mezclado rápido. La eliminación de coliformes se efectúa con 15 min. de contacto como mínimo.



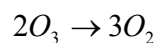
3.1 DESINFECCIÓN CON OZONO.

El ozono junto con el cloro son los dos germicidas más potentes y efectivos que se emplean en el tratamiento del agua. Entre sus ventajas se tiene la elevada eficiencia para eliminar virus y quistes, la capacidad para controlar problemas de olor, sabor y color y el hecho de que su producto de descomposición sea el oxígeno disuelto. Adicionalmente, su funcionamiento no se ve afectado por el pH ni por el contenido de amoníaco. Entre sus desventajas es que se debe producir eléctricamente a medida que es empleado, no puede ser almacenado y es difícil adaptarlo a las variaciones de carga y de la calidad del agua influente. Por ello, la aplicación del ozono se ha limitado a las fuentes de abastecimiento con demanda baja o constante, como es el caso del agua proveniente de acuíferos.

El ozono tiene una eficiencia particularmente rápida para desactivar los virus. Bajo condiciones controladas el 99 % de los polivirus pueden ser acabados con 0.1 mg/L de ozono residual en 10 seg. La misma concentración de cloruros requiere de 10 min.

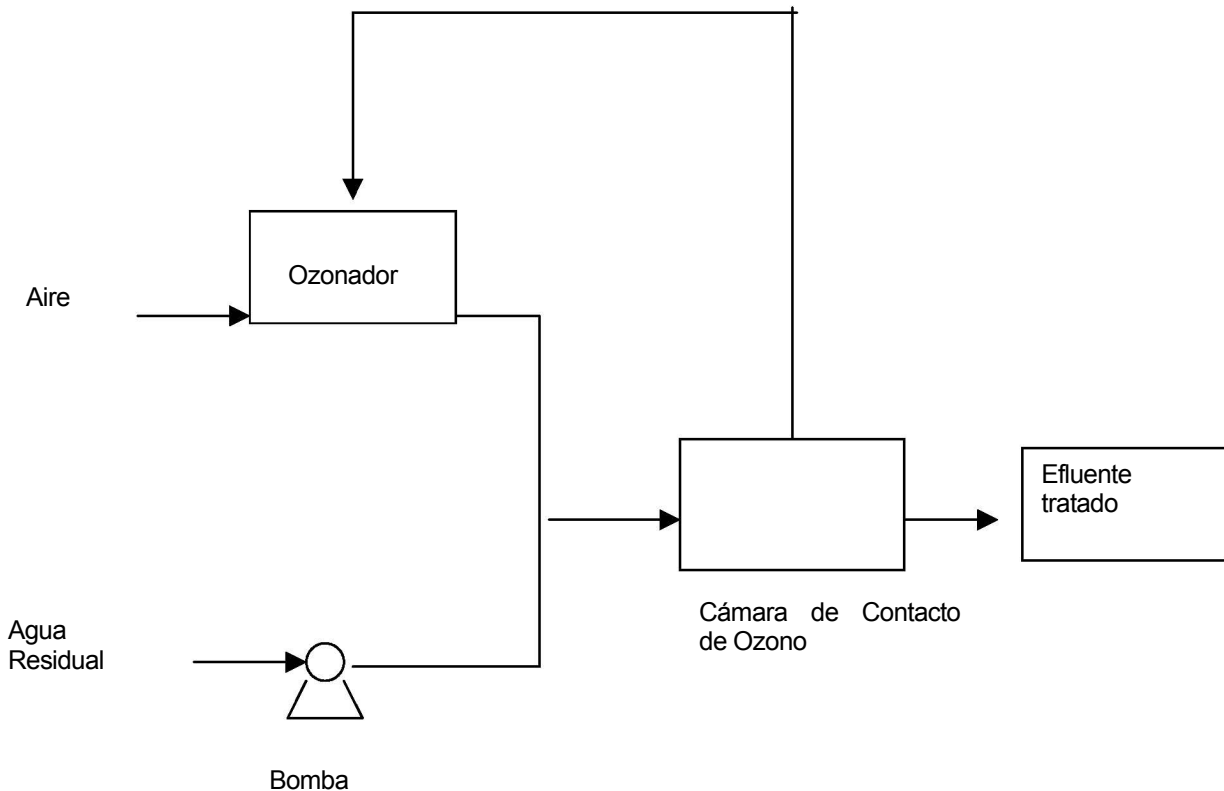
El ozono puede utilizarse para reducir la materia orgánica residual, procedente de los tratamientos biológicos, que esta constituida generalmente por compuestos orgánicos polares de bajo peso molecular y por compuestos orgánicos complejos. Cuando se utiliza el ozono para la destrucción de la materia orgánica refractaria, la desinfección es un beneficio adicional.

Cuando se añade ozono al agua, se convierte rápidamente en oxígeno:





Equipo: Recirculacion de O₂



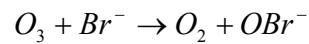
A causa de este fenómeno, no persiste en el efluente tratado ningún compuesto químico residual que pueda requerir eliminación como en el caso del cloro residual. La ozonación no produce sólidos en disolución y no se ve afectada por el ion amonio o por el pH del agua a tratar. La oxigenación del agua residual que resulta del uso del ozono en la desinfección constituye una ventaja adicional. Por estas razones, la ozonación se considera una alternativa viable a la cloración con gas cloro o hipoclorito especialmente cuando puede necesitarse la dechloración posterior.

Como ventaja y desventaja tiene la de que, como el oxígeno, es poco soluble en agua y debido a su inestabilidad no deja residual en ella, o sea que una vez descompuesto el único material residual es más oxígeno disuelto. Además, el ozono debe ser producido en el lugar mediante generadores de ozono de alto consumo de consumo eléctrico, lo cual ha limitado su uso. En general, se ha encontrado que el ozono iguala o excede las características germicidas del cloro y que en la mayoría de los casos un residual de 0.1 mg/L durante 5 minutos es apropiado para desinfectar aguas con alto contenido orgánico y libres de material suspendido.

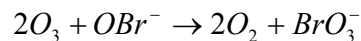


Dadas las características del ozono y del cloro, es razonable pensar que el esquema mas apropiado de desinfección es el de combinar la ozonación y la cloración. El procedimiento se emplea en Amsterdam y otros lugares donde la aplicación inicial de ozono permite la oxidación de fenoles, destrucción de gérmenes y mejor calidad física del agua; la poscloración asegura un residual desinfectante para protección del agua en todo el sistema de distribución. En sistemas de desinfección con ozono se debe controlar la concentración de bromato, por sus efectos sobre el riñón, el oído y el intestino. La USEPA ha establecido un limite de bromato de 0.01 mg/L.

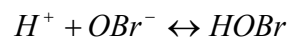
El ozono reacciona con el bromo para formar bromoformo, CHBr_3 . Las reacciones más importantes son:



ion bromuro ion Hipobromito



ion bromato



ácido hipobromoso

Acido Hipobromoso + Carbono Orgánico Disuelto \rightarrow Bromoformo + Dibromoacetnitrilo + Acido Dibromoacetico



Algunas de las ventajas e inconveniente del ozono como desinfectante son las siguientes:

Ventajas	Inconvenientes
1. Reduce y elimina eficazmente los complejos problemas de sabor, olor y color.	1. No proporciona una acción desinfectante residual duradera.
2. Es un oxidante poderoso que oxida con rapidez las impurezas orgánicas.	2. El consumo elevado de energía eléctrica y los costos de instalación y de operación son elevados de 10 a 15 veces mayores que cuando se emplea cloro.
3. La acción desinfectante es eficaz a través de una gama muy amplia de temperaturas y pH.	3. La mezcla de ozono-aire obtenida por la necesaria generación in situ es tan solo ligeramente soluble en agua, y la producción se complica cuando la temperatura y la humedad son elevadas.
4. Su acción bactericida y esporicida es rápida (de 300 a 3000 veces mas que la del cloro) y tan solo requiere periodos de contacto cortos.	4. El proceso es menos flexible que el de cloro en lo que respecta a los ajustes de la velocidad de flujo y variaciones de la calidad del agua.
5. No se producen o intensifican los olores que resultan de la formación de complejos de adición o sustitución.	5. Las técnicas analíticas no son lo suficientemente específicas o sensibles para asegurar un control rápido y eficaz del proceso.
6. No existe ninguna posibilidad de peligro o perjuicio para la salud resultante de un sobretratamiento.	Las agua residuales de elevado contenido en compuestos orgánicos y algas necesitan un pretratamiento muy completo para satisfacer la demanda de ozono.

3.2 Radiación Ultravioleta.

La luz ultravioleta es una onda electromagnética que abarca de los 180 a los 400 nm de longitud de onda y entre los 220 y los 300 nm tiene propiedades germicidas. La forma en la que actúa es la siguiente: el haz luminoso daña las proteínas contenidas en los ácidos ribonucleico (ARN) y desoxiribonucleico (ADN) de la célula, de esta forma evita que la información genética se replique y por ello los microorganismos no se pueden reproducir.

La desinfección del agua mediante la radiación ultravioleta es una técnica relativamente nueva que provee una buena eficiencia a un costo efectivo menor, ofrece un método de control para los microorganismos, no genera productos tóxicos e incluso puede ayudar a disminuir el contenido de materia orgánica y destruir las cloraminas. Sin embargo, requiere que el agua a desinfectar sea de muy buena calidad, es decir, que el contenido de sólidos suspendidos y de materia disuelta sea tal que absorba o disipe la luz UV.



Lo ideal es que la absorbancia sea menor al 10% en celda estándar de cuarzo de 1cm; en la medida el agua absorba o disipe mas luz peor será el desempeño en la desinfección.

Equipo.

Existen diferentes medios para generar rayos con longitud de onda de 240-270 nm asegurando un largo tiempo de contacto con un consumo mínimo de energía. Comercialmente se encuentran dos tipos de lamparas UV con propiedades germicidas, una de presión baja que emite luz UV entre los 250 y 280 nm con una duración de 7000 h y potencia de 120; Y otra de presión media que abarca un rango más amplio dentro de las frecuencias germicidas.

La dosis requerida de radiación UV es menor que la dosis de cloro y ozono para alcanzar una desinfección similar, además después del tratamiento con luz ultravioleta no es necesario otro proceso. La dosis suministrada se define como la energía aplicada por unidad de superficie durante un periodo determinado.

$$H = E * t$$

Donde:

H: dosis de luz ultravioleta (mJ/cm)

E: intensidad (mW/cm)

t.: tiempo de exposición (s)

Un punto de vital importancia para el buen desempeño de los equipos de luz UV es la distancia que existe entre los emisores y los extremos del espacio donde se aplica la luz UV ya que la intensidad de la luz se disipa en forma exponencial con respecto a la distancia en un medio absorbente, comportándose de acuerdo con la Ley óptica de Beer.

$$I_x = \frac{S}{4\pi x^2} e^{-\alpha x}$$

Donde:

S: Intensidad del emisor (μ W)

I_x : Intensidad de la luz UV en la distancia (μ W/cm²)

α : Distancia que recorre la luz UV a través de un medio absorbente (cm)

Específicamente para las plantas de tratamiento de aguas residuales se han desarrollado dos modalidades de equipo UV que son la cámara cerrada y las lamparas para canal.



Los equipos de cámara cerrada son generalmente cilíndricos con una lámpara colocada a lo largo del eje del cilindro de tal forma que cualquier punto en la pared de la cámara de exposición sea equidistante del emisor.

En los sistemas de canal se introduce una batería de lamparas UV en el canal del efluente. Con estos equipos no se cumple el criterio de equidistancia, pero refuerzan la dosis de luz UV al suministrar mayor potencia de salida (mayor numero de emisores).

Lampara UV.



Un problema con el uso de la luz ultravioleta radica en la dificultad para medir la dosis y el monitoreo inmediatamente después de la desinfección. Recientemente se han desarrollado un método indirecto mediante bioensayos encontrado que la dosis es función directa del tiempo de residencia pero solo a nivel cualitativo. El método requiere pequeños volúmenes de esporas en un flujo continuo.

Cada desinfectante tiene un campo específico de aplicación. Las diferencias entre los parámetros al utilizar diferentes técnicas se muestran en la siguientes tabla. Aun con todo el cloro es el desinfectante mas usado; con respecto al ozono, los costo son muy altos.



Tabla 5 Comparación de Desinfectantes.

Puntos de Comparación	UV	Ozono	Cloro
Tiempo de contacto	1-10s	10-20 min.	30-50min
Tanque de reacción	ninguno	requerido	requerido
Instalación	sencilla	elaborada	elaborada
Influencia de: Materia suspendida Temperatura PH	Fuerte Variable ninguna	Fuerte Elevada Débil	Fuerte Elevada elevado
Residuos en el agua	ninguna	Bajo	Presente
Influencia del agua	ninguna	Presente	Presente
Corrosión	ninguna	Presente	Presente
Toxicidad	ninguna	presente	Presente
Costos de operación	bajo	alto	Bajo

Radiación Ultravioleta:

Ventajas	Inconvenientes
1. No se introducen materias extrañas en el agua y el carácter físico o químico de esta no queda significativamente afectado.	1. Las esporas, los quistes y los virus son menos susceptibles que las bacterias vegetativas.
2. Los constituyentes que se encuentran en solución en el agua, como el amoníaco, no ejercen ningún efecto sobre la capacidad de desinfección.	2. Se precisa un acondicionamiento exhaustivo del agua debido a que las radiaciones ultravioletas son absorbidas por muchos constituyentes que se encuentran hasta en las aguas pretratadas.
3. No se producen sabores ni olores, aunque las radiaciones ultravioleta no ejercen ningún efecto en la separación del olor o color.	3. Parece ser que las radiaciones ultravioletas no tienen capacidad de desinfección residual.
4. Son eficaces los periodos de contacto (tiempo de exposición) cortos.	4. Se requieren gastos elevados de energía eléctrica y equipos caros
5. La sobredosificación no produce efectos perjudiciales.	5. Con objeto de garantizar una aplicación de energía estable y una densidad esencialmente uniforme por toda el área efectiva de radiación es necesario un mantenimiento frecuente y caro de los aparatos.

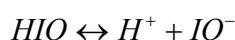


Otros Desinfectantes.

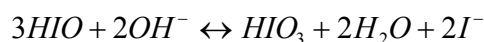
3.3 YODO.

De los cuatro halógenos es el de mayor masa atómica y el menos soluble en agua, 399 mg/L, así como el menos hidrolizable y el de menor potencial de oxidación; Ofrece reactividad mínima con los compuestos orgánicos. Por las características anteriores, los residuales de yodo son más estables y persisten mas tiempo en presencia de materiales orgánicos o sustancias oxidables por los demás halógenos.

El yodo elemental, I_2 reacciona con el agua así:



A pH mayor de 4.0 el ácido hipoyodoso, HIO, se disocia en ion hidrogeno e ion hipoyodito; a pH mayor de 8.0 es inestable y no forma el ion hipoyodito sino que se descompone en la siguiente reacción:



Formando yoduro, I^- , y yodato, HIO_3 .

Hasta pH 5.0 casi todo el yodo esta en la forma elemental; entre pH 6.0 y 8.0 el porcentaje de I_2 disminuye y aumenta el de HIO. A pH 8.0, un 12 % está presente como I_2 y un 88% aproximadamente como HIO, con solamente un 0.005 de IO^- .

Los análisis hechos por Black indican que, en general, en concentraciones menores de 1 mg/L de I_2 no son detectables por color, olor o sabor. De la misma manera, concentraciones hasta de 5 mg/L de I^- no son detectables. Cuando la concentración de I_2 es de 1.5 a 2.0 mg/L es posible detectar sabor, aunque no rechazable.

Los estudios realizados y reportados en la bibliografía indican que el ácido hipoyodoso, HIO, destruye bacterias a una tasa superior que el yodo, I_2 . El ion yoduro I^- y el HIO_3 son prácticamente inertes como viricidas. Sin embargo, el yodo es más efectivo como exterminador de quistes de Entamoeba histolytica que el HIO. Se ha encontrado que la acción bactericida del yodo es en general similar a la del cloro en cuanto a la influencia de la temperatura y del pH, pero en las mismas condiciones se requieren dosis mas altas de yodo reemplace al cloro dados su alto costo y baja disponibilidad comercial. Un método práctico para desinfección con yodo en acueductos es el de aplicar soluciones de baja concentración de yodo elemental, proveniente de yodo en cristales. Las dosificaciones mas usadas son de 1 a 2 mg/L. La aplicación se hace generalmente por medio de un saturador; los cristales de yodo se colocan en una capa de aproximadamente 30 cm de altura y se dejan disolver en agua. Dada la baja solubilidad del yodo, la solución tendrá, según la temperatura, una concentración de 200 a 300 mg/L y se aplica con una bomba dosificadora o con un equipo de dosificación con control apropiado. Para medir el residual de yodo se puede usar el método del yoduro-almidon y los métodos colorimétricos con DPD o con violeta cristal leuco.



Yodo:

Ventajas	Inconvenientes
1. La capacidad bactericida del yodo no esta muy condicionada por el pH, excepción hecha de cuando se emplea a temperaturas muy bajas	1. Para obtener un efecto bactericida comparable en condiciones similares a las del cloro, se necesitan concentraciones superiores de yodo.
2. El amoniaco y otras impurezas nitrogenadas orgánicas ejercen muy poco efecto sobre la eficacia germicida del yodo, debido a que no forman compuestos de sustitución con él.	2. El color orgánico y otros materiales reductores afectan de modo sustancial la actividad germicida (pero el efecto es menos marcado que cuando se trata de cloro libre.
3. La actividad del yodo depende menos del tiempo de contacto y de la temperatura que la del cloro.	3. Es caro, unas 20 veces más costoso que el cloro por unidad de actividad germicida.
4. Es muy eficaz contra los organismos más patógenos (inclusive esporas, quistes, virus, etc.), empleando tiempos de contacto cortos y dosificaciones relativamente bajas.	4. El sabor y ligero color que produce el yodo puede afectar a la calidad estética del agua.
5. Parece ser que la persistencia de valores residuales depende menos de la cantidad de bañistas, que en el caso del cloro.	5. No se han establecido con precisión las eficacias germicidas relativas de las diversas formas de yodo.
6. Cuando se emplea adecuadamente en la desinfección de piscinas, son poco frecuentes las quejas de sabores, olores e irritaciones oculares, de oídos y de la piel.	6. La preparación de soluciones de yodo en cantidades industriales (en alcohol o agua) aun no es practica y en gran escala es económicamente prohibitiva.
	7. Queda por determinar el efecto fisiológico resultante de un empleo prolongado, especialmente en el caso de los niños.



3.4 BROMO.

Tiene características químicas y desinfectantes similares a las del cloro. Es poco probable que reemplace al cloro por que es más costoso y escaso, y por estar involucrado en la formación de hidrocarburos halogenados y por falta de experiencia en su uso.

El bromo es algo soluble en agua, es un buen agente germicida y se han desarrollado ensayos eficaces para determinar las concentraciones residuales del mismo. Como en el caso del cloro, en presencia de amoniaco y de otros materiales nitrogenados trivalentes se obtienen formas aminicas y se registra un fenómeno de punto de ruptura similar. Se ha observado que el bromo y la monobromoamina tienen propiedades bactericidas casi iguales y especialmente análogas a las del cloro libre para concentraciones análogas a un pH comparable.

3.5 PLATA.

La plata coloidal fue usado por los romanos para preservar el agua en jarras de almacenamiento, puesto que en concentraciones de 25 –40 $\mu\text{g/L}$ es un buen desinfectante. Tiene pocas posibilidades de uso intensivo por su alto costo. Para desinfección de caudales pequeños existen equipos comerciales dotados con un lecho o columna de carbón activado impregnado de plata, donde el agua al entrar en contacto con la plata desprende cantidades desinfectantes de plata de 25- 40 $\mu\text{g/L}$.

La plata es un metal blanco lustroso y blando, insoluble en el agua y en los álcalis. Su especial afinidad para el azufre y los elementos halógenos esta perfectamente reconocida y la reacción de este metal con el azufre (que conduce a la formación de sulfuro de plata) se emplea mucho en numerosas técnicas de valoración analítica. La plata se ioniza fácilmente por electrólisis, y esta propiedad constituye la base de algunos sistemas que la emplean en la desinfección del agua. La velocidad de ionización de la plata esta directamente relacionada con la cantidad de corriente aplicada. Las dosificaciones pueden aumentarse o disminuirse variando el flujo de corriente, aunque las concentraciones empleadas en el tratamiento del agua se encuentran comprendidas entre 0.025 y 0.075 ppm.

Aparte de su aplicación en forma metálica por descomposición electrolítica, la plata puede aplicarse como solución de sus sales o por desorción de los lechos filtrantes de arena revestida de plata, carbono, tejidos u otros materiales revestidos de plata que liberen al metal. El nitrato de plata cristalino que es una forma que se emplea a veces en relación con el tratamiento de aguas, es extremadamente cáustico para la piel húmeda y las membranas mucosas. Las soluciones acuosas del compuesto también son muy irritantes y hay que manipularlas con suma prudencia. La concentración de plata en las aguas potables es de 0.05 mg/L.



Plata:

Ventajas	Inconvenientes
1. Las concentraciones desinfectantes bajas son eficaces contra las bacterias vegetativas, si se emplean inteligente y adecuadamente.	1. Se necesita recurrir a un pretratamiento intenso del agua, ya que la turbiedad, el color orgánico y otras materias coloidales en suspensión absorben al ion Ag^+ .
2. Proporciona una acción bactericida residual intensa y de larga duración.	2. Ciertas especies biológicas (tales como los anaerobios, quistes, esporas y algas son resistentes; algunos organismos pueden habituarse a la acción del desinfectante.
3. Parece ser que ni la luz ni las variaciones en la concentración de organismos afectan a la capacidad germicida.	3. La acción germicida disminuye marcadamente para temperaturas frías y valores bajos de pH.
4. Se inhibe el desarrollo de ciertas algas y hongos.	4. Los fosfatos, cloruro, sulfuros y sulfatos impiden la actividad del desinfectante.
5. Los desinfectantes registrados son insípidos, no tóxicos y de una manipulación relativamente sencilla.	5. La absorción en las superficies de contacto reduce la concentración de desinfección disponible.
	6. No se han desarrollado en el grado necesario los ensayos prácticos y fiables que permitan determinar las concentraciones bajas del ion Ag^+ .
	7. Se requieren periodos de contacto relativamente dilatados.
	8. El tratamiento es costoso (unas 200 veces mas caro que el que se basa en el empleo de cloro gaseoso).



3.6 DIÓXIDO DE CLORO.

El dióxido de cloro, ClO_2 , es un gas amarillo- rojizo, oxidante fuerte, que se halla en el comercio con una concentración del 26.3%. Potencialmente es de gran utilidad para remoción de olores y sabores así como para desinfección de aguas. Se produce en el sitio mediante la cloración de clorito de sodio, en una relación de 1 mol de cloro por 2 moles de clorito.

Tienen la ventaja de no reaccionar con el amoniaco; no es influenciado por el pH en los intervalos normales de las aguas naturales, es un poderoso oxidante y bactericida, puede proveer residuales, no forma hidrocarburos halogenados con los compuestos orgánicos y destruye los compuestos fenólicos que sé combinada con otras formas de cloro. Como desventaja tiene la de generar subproductos inorgánicos como el ion clorito, ClO_2 y el ion clorato ClO_3 .

El dióxido de cloro es poco usado en forma de gas debido a su explosividad; en aguas se usa solamente en solución. En sistemas de desinfección con dióxido de cloro se debe controlar la concentración de clorito, para prevenir riesgos de anemia hemolítica. La USEPA establece un limite de 1 mg/L.



CAPÍTULO 4

4.0 MARCO NORMATIVO

El agua es probablemente el recurso natural más importante del mundo, ya que sin ella no podría existir la vida. El agua tiene un papel vital en el desarrollo de las comunidades, ya que es indispensable que su abastecimiento sea seguro para que una comunidad se establezca permanentemente. Por lo que se generaron normas para establecer límites permisibles de calidad y medidas sanitarias para las aguas de desecho.

A continuación se enuncian las normas más importantes en el campo de aguas potable y residuales.

4.1 AGUA POTABLE:

4.1.1 Norma Oficial Mexicana (NOM-041-SSA-1993)

4.1.2 Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994)

4.2 AGUAS RESIDUALES:

4.2.1 Norma Oficial Mexicana (NOM-001-SEMARNAT-1996)

4.2.2 Norma Oficial Mexicana (NOM-002-SEMARNAT-1996)

4.2.3 Norma Oficial Mexicana (NOM-003-SEMARNAT-1997)

4.1 AGUA POTABLE.

4.1.1 NORMA OFICIAL MEXICANA; NOM-041-SSA1-1993, Bienes y Servicios. Agua Purificada Envasada Especificaciones Sanitarias.

Introducción:

Esta norma tienen como propósito, establecer las especificaciones sanitarias del agua purificada envasada con el fin de reducir los riesgos de transmisión de enfermedades gastrointestinales y las derivadas de su consumo.

Objetivo y Campo de Aplicación.

- 1) Esta Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones sanitarias del agua purificada envasada.
- 2) Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en el territorio Nacional para las personas físicas o morales que se dedican a su proceso o importación.



Las especificaciones sanitarias que debe tener el agua potable son las siguientes en el aspecto microbiológico:

	Límite Máximo
Mesofilicos aeróbicos UFC/ml	100
Coliformes Totales* NMP/100ml	No detectable
Coliformes totales** UFC/100ml	Cero
Vibrio Cholerae***	Negativo

* Técnica de número más probable.

** Método de filtración por membrana.

*** Bajo situaciones de emergencia sanitaria la Secretaria de Salud, sin perjuicio de las atribuciones de otras dependencias del ejecutivo establecerá los casos en los que habrá de determinar la presencia de este agente biológico.

4.1.2 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.

Introducción.

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas.

Con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor, se debe someter a tratamiento de potabilización.

Objetivo y Campo de Aplicación:

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites permisibles de calidad y los tratamiento de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.

Límites Permisibles de Calidad del Agua.

Límites permisibles de características bacteriológicas.

Bajo situaciones de emergencia, las autoridades competentes deben establecer los agentes biológicos nocivos a la salud investigar.



TABLA 1

CARACTERISTICAS	LIMITE PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	2 NMP/100ml 2 UFC/100 ml
Organismos coliformes fecales	No detectable NMP/100 ml Cero UFC/100 ml

Los resultados de los exámenes bacteriológicos se deben reportar en unidades de NMP/100 ml (número más probable por 100 ml), si se utiliza la técnica del número más probable o UFC/100 ml (unidades formadores de colonias por 100 ml), si se utiliza la técnica de filtración por membrana.

Contaminación biológica: Cuando se contamine el agua por bacterias, helmintos, protozoarios y virus. Su desinfección se debe hacer por cloro, compuestos de cloro, ozono o luz ultravioleta.

4.2 AGUAS RESIDUALES.

4.2.1 NORMA OFICIAL MEXICANA, NOM-001-SEMARNAT-1996, Que Establece los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales.

Objetivo y campo de aplicación.

Esta Norma Oficial Mexicana establece los Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes separados de aguas pluviales.

Especificaciones.

La concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder el valor indicado como Límite máximo permisible en las tablas 2 y 3 de esta Norma Oficial Mexicana. El rango permisible del potencial hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades.

Para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El Límites máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de 1000 y 2000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario, respectivamente.



Para determinar la contaminación por parásitos se tomará como indicador los huevos de helminto. El Límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego no restringido, y de cinco huevos por litro para riego restringido, lo cual se llevará a cabo de acuerdo a la técnica establecida en el anexo 1 de esta norma.



Se anexan Tablas con Límites máximos permisibles para contaminantes básicos.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																				
Parámetro (mg/L)	Ríos						Embalses Naturales y Artificiales				Aguas Costeras						Suelo			
	Uso riego Agrícola (A)		Uso Publico (B)		Protección de vida Acuática (C)		Uso en riego Agrícola (B)		Uso publico Urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego Agrícola (A)		Humedales Naturales (B)	
	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD
Temperatura °C (1)	NA	NA	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	NA	NA	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (3)	AS	AS	AS	AS	AS	AS	AS	AS	AS	AS	AS	AS	AS	AS	AS	AS	AS	AS	AS	AS
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	NA	NA	1	2
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	NA	NA	75	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	NA	NA	75	150
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	NA	NA	NA	NA	15	25	NA	NA	NA	NA
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	NA	NA	NA	NA	5	10	NA	NA	NA	NA

(1) Instantáneo.

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado.

(3) Ausente según el método de prueba definido en la NMX-AA-006.

PD= Promedio Diario. PM= Promedio Mensual. NA= No es aplicable.

A, B y C = Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

AS= ausente



LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS																				
Parámetro (*) (mg/L)	Ríos						Embalses Naturales y Artificiales				Aguas Costeras						Suelo			
	Uso riego Agrícola (A)		Uso Publico (B)		Protección de vida Acuática (C)		Uso en riego Agrícola (B)		Uso publico Urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego Agrícola (A)		Humedales Naturales (B)	
	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD	PM	PD
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuros	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

(*) Medidos de manera total.

PD= Promedio Diario. PM= Promedio Mensual. NA= No es aplicable.

A, B y C = Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos



4.2.2 NORMA OFICIAL MEXICANA; NOM-002-SEMARNAT-1996. Que Establece los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales a los Sistemas de Alcantarillado Urbano o Municipal.

Objetivo y Campo de aplicación.

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria, que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.

Especificaciones.

Los Límites máximos permisibles para contaminantes de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, no deben ser superiores a los indicados en la siguiente tabla. Para las grasas y aceites es el promedio ponderado en función del caudal, resultante de los análisis practicados a cada una de las muestras simples.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES			
PARAMETROS (Miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	PROMEDIO MENSUAL	PROMEDIO DIARIO	INSTANTANEO
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	15	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

Los Límites máximos permisibles establecidos en la columna instantáneo, son únicamente valores de referencia, en el caso de que el valor de cualquier análisis exceda el instantáneo, el responsable de la descarga queda obligado a presentar a la autoridad competente en el tiempo y forma que establezcan los ordenamientos legales locales, los promedios diario y mensual, así como los resultados de laboratorio de los análisis que los respaldan. El rango permisible de pH en las descargas de aguas residuales es de 10 y 5.5 unidades determinando para cada una de las muestras simples. Las unidades de pH no deberán estar fuera del intervalo permisible, en ninguna de las muestras simples.



El Límites máximo permisible de la temperatura es de 40°C. Medida en forma instantánea a cada una de las muestras simples. Se permitirá descargar con temperatura mayores, siempre y cuando se demuestre a la autoridad competente por medio de un estudio sustentado, que no daña al sistema del mismo.

4.2.3 NORMA OFICIAL MEXICANA; NOM-003-SEMARNAT-1997. Que Establece los Límites Máximos Permisibles de Contaminante para las Aguas Residuales Tratadas que sé Reusen en Servicios al Público.

Objetivo y Campo de Aplicación.

Esta Norma Oficial Mexicana establece los Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que sé reusen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reuso.

En el caso de que el servicio al público se realice por terceros, estos serán responsables del cumplimiento de la presente Norma, desde la producción del agua hasta su reuso o entrega, incluyendo la conducción o transporte de la misma.

Especificaciones.

Los Límites máximos permisibles de contaminantes en aguas tratadas son los establecidos en la Tabla siguiente de esta Norma Oficial Mexicana.

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMIANTES					
TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/100ml	Huevos de helminto (h/l)	Grasas y aceites mg/l	DBO ₅ mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	≤1	15	20	20
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1000	≤5	15	30	30



CAPÍTULO 5

PRODUCCIÓN DE HIPOCLORITO POR ELECTROLISIS.

5.0 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO.

Se tiene una planta para la producción de cloro, sosa cáustica, hipoclorito de sodio e hidrógeno a partir de la electrólisis de salmuera ultrapura. La reacción electroquímica de la salmuera se lleva a cabo en celdas electrolíticas a membrana (Tecnología ELTECH). Para la primera fase de producción se instalan dos electrolizadores Exlb con 30 celdas electrolíticas cada uno, aumentando a 44 en una segunda fase. La capacidad de la planta es de 15 toneladas métricas de cloro gas por día en la primera fase y de 23 toneladas en una segunda fase.

Las materias primas para la producción de cloro a partir de la electrólisis son:

- a) Sal
- b) Agua
- c) Sosa cáustica al 50%

Los químicos utilizados en el proceso son:

- a) HCl al 32%
- b) NaHSO_4
- c) CO_2
- d) CaCl_2

Además se requiere para la electrólisis el uso de energía eléctrica. La planta para su funcionamiento requiere de los siguientes insumos:

- a) Agua suave
- b) Agua desmineralizada
- c) Aire presurizado
- d) Nitrógeno



5.1 CIRCUITO DE SALMUERA.

El tratamiento de salmuera consiste en preparar una salmuera ultrapura para alimentar a los electrolizadores de membrana. El tratamiento se efectúa en las etapas descritas a continuación:

- a) Saturación de Salmuera.
- b) Precipitación de Salmuera.
- c) Filtración de Salmuera.
- d) Purificación Secundaria de Salmuera.
- e) Destrucción de Cloratos.
- f) Decloración de Salmuera.
- g) Precipitación de Sulfato.

5.1.1 SATURACIÓN DE SALMUERA.

La unidad de saturación consta de dos piletas y módulo de bombeo que tiene como función volver a concentrar la salmuera a 300 gpl NaCl, la salmuera agotada con una concentración de aproximadamente de 200 gpl proveniente de los electrolizadores. A estas piletas se les adiciona agua desmineralizada para compensar el agua consumida en la electrólisis.

Se tiene un almacén de sal de 600 ton el cual equivale a 25 días de producción continua. Los saturados tienen una capacidad de sal en grano de 26 ton y una de salmuera de 30 m³. Donde es succionada mediante bomba desde la parte inferior por lo que se tiene que sebar la bomba.

La salmuera agotada proveniente del intercambiador de calor, con la salmuera bruta de recirculación de las bombas y el agua desmineralizada que se adiciona se mezclan para que se alimente al fondo de la parte trasera del saturador de sal donde esta la sal en grano y empiece a diluirla para formar la salmuera concentrada. Y con esto volver a enviarse al proceso.

5.1.2 PRECIPITACIÓN DE SALMUERA

La finalidad del proceso de purificación por precipitación de salmuera es bajar la concentración de calcio y magnesio a niveles correspondientes de 5 y 1 ppm, respectivamente. Esto se logra por efecto de reacción con carbonato de sodio e hidróxido de sodio. La salmuera que viene de los saturadores es enviada por las bombas a los tanques reactores donde se lleva a cabo la purificación primaria de la salmuera.

En el primer tanque se adiciona la salmuera y el carbonato de sodio al 5% el cual va a reaccionar para formar el carbonato de calcio y mediante aire se va a mantener en suspensión y va a favorecer la reacción. En este tanque se forma un flóculo de carbonato de calcio el cual precipita, pero con el aire se mantiene en suspensión y así la salmuera del primer tanque pasa al segundo tanque en el cual se le adiciona el hidróxido de sodio al 5% para que reaccione y forme el hidróxido de magnesio el cual va a ser capturado por el carbonato de calcio.



Posteriormente la salmuera pasa al tanque PULMON que tiene la función de tanque de stock por si llega a pasar algún problema en el equipo de bombeo no se pare las siguientes etapas del sistema de salmuera. Este tanque cuenta con un rebalse a la parte posterior de los saturadores de sal. En este tanque se toma la muestra para analizarla y ver como esta la relación 5 a 1 de los excesos de carbonato y sosa. Con esta relación se garantiza que en la filtración va tener mejor desempeño logrando que la dureza sea inferior a 5 ppm. Los excesos de carbonato de sodio se deben de mantener entre 400-600 mg/L y el de sosa debe estar en 100-200 mg/L.

La preparación del carbonato de sodio se lleva acabo mediante la reacción de la sosa cáustica al 5% y el bióxido de carbono produciendo el carbonato de sodio y la sosa cáustica al 5% se lleva acabo por la dilución de la sosa al 32% que se produce continuamente en la planta y con la ayuda de un densímetro en línea controlado por una válvula automática para llevar a la sosa a la densidad deseada.

5.1.3 FILTRACIÓN DE SALMUERA.

El filtro Back Pulse de salmuera es un filtro del tipo vela con un recipiente de fondo cónico. El filtro contiene 121 velas. Las velas consisten de un soporte cilíndrico sobre el cual son colocadas unas telas de una porosidad de 0.5 micrones. La base de las membranas es de polipropileno con un recubrimiento de teflón. Este recubrimiento permite que los sólidos depositados no se adhieran a la superficie.

Durante la operación la salmuera precipitada entra por la parte inferior del cuerpo cilíndrico del filtro, atravesando las velas hacia el interior y sale por la parte superior del domo del filtro. La presión diferencial es medida constantemente entre la entrada y la salida con el dPT-101, si esta alcanza 1.06 bar se inicia por unos minutos el ciclo de limpieza o también se puede llevar a cabo el ciclo de limpieza por tiempo transcurrido de operación.

La salmuera filtrada es almacenada en un tanque de 30 m³ de capacidad, es decir, una reserva para 4 horas de operación. Esto permite realizar un lavado ácido del filtro o por cualquier eventualidad puede interrumpirse el flujo de salmuera filtrada sin tener que bajar carga de la planta. Cuando el filtro se va a limpieza los lodos generados se depositan en una pileta con capacidad de 4.5 m³ y esta prevista para recoger los lodos mediante bomba y enviarlos al filtro prensa.

5.1.4 PURIFICACIÓN SECUNDARIA DE SALMUERA.

Etapas de purificación por Intercambio Iónico.

La salmuera filtrada es enviada mediante bomba a un arreglo de intercambiadores de calor de Cloro gas y de Salmuera agotada proveniente de los electrolizadores para subir su temperatura de operación de 40 a 50°C hasta 65 a 75°C, que es la temperatura de trabajo ideal para la resina, ya que a esta temperatura la resina mejora su eficiencia de retención de Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺.



Esta etapa es crítica para la formación de la salmuera ultrapura ya que mediante una columna con resina de intercambio iónico se disminuye la dureza de la salmuera de 5 ppm a 20 ppb. Estas condiciones de la salmuera son indispensables para el proceso de electrólisis. Las resinas son regeneradas periódicamente con soluciones diluidas de HCl y NaOH. Durante la regeneración queda en operación una sola columna, colocando al término la columna regenerada como segunda torre. Las soluciones de ácido y sosa son diluidas por mezcla de los productos concentrados, provenientes de la producción de la planta con agua desmineralizada a través de eyectores de sosa y ácido.

Una vez ya purificada la salmuera pasa al tanque elevado de salmuera y este es el que alimenta a los electrolizadores desde una altura de 10 m por gravedad y aparte tiene una recirculación al tanque de salmuera filtrada con esto garantizando que siempre estará lleno el tanque elevado.

5.1.5 DECLORACIÓN DE SALMUERA Y DESTRUCCIÓN DE CLORATOS.

La unidad de descloración de salmuera tiene la finalidad de eliminar totalmente el cloro de la salmuera, recuperando gran parte del mismo para la producción de hipoclorito. Es necesaria la eliminación total del cloro para evitar la destrucción de la resina de intercambio iónico por oxidación al retornar la salmuera resaturada al tratamiento secundario. A la salida de los electrolizadores, el anolito se encuentra saturado de cloro bajo las siguientes condiciones:

NaCl: 200 a 230 g/L.

Cl₂*: <0.5 g/L a 1.2 bar y 85°C.

Temperatura de salmuera agotada: 80 – 90°C.

pH: 4 – 5.

* El Cl₂ esta en forma de Cl₂ libre y NaClO. Parte del hipoclorito se transforma en clorato, NaClO₃.

La unidad consiste de 2 tanques de decloración a los que se alimenta de salmuera agotada del área de electrolizadores. A estos tanques se les inyecta aire de los ventiladores. El flujo de aire a los tanques se regula mediante válvulas de los rotámetros y este puede variar según las necesidades del proceso.

Además, existe un tanque de destrucción de clorato mediante la adición de HCl. Este tanque es alimentado con salmuera agotada a un flujo de 0.5 m³/h medidos por un rotámetro. En este tanque se hace reaccionar HCl con el clorato para descomponerlo en cloruro de sodio y gas cloro, el cual a su vez es extraído por burbujeo continuo de aire y enviado a la unidad de hipoclorito. Este tanque se mantiene en recirculación con bomba para mejorar y asegurar una mezcla completa.

La salmuera ácida que sale del tanque de destrucción de cloratos rebalsa hacia los tanques de decloración, donde se mezcla con la corriente principal de salmuera agotada. En los tanques de decloración, la salmuera baja a un pH de 1.5 a 2.0 y es sometida a un burbujeo de aire para extraer el cloro liberado por la reacción entre el hipoclorito o ácido hipocloroso y el ácido clorhídrico. El pH de los tanques es controlado por un sensor el cual esta enlazado al controlador en el cuarto de control y este a su vez controla las bombas dosificadoras de HCl.



A la salida del segundo tanque de decoloración se encuentra un punto de adición de sosa cáustica al 5%, la cual sirve para regular el pH de la salmuera decolorada de 1.5 subirlo a un pH de 7 a 9. Esto con la finalidad de favorecer la acción del bisulfito de sodio para eliminar completamente el cloro residual y para retornar salmuera alcalina a los saturadores. El pH de la salmuera decolorada esta controlado por un sensor el cual regula la adición de la sosa al 5% y se hace mediante válvula automática. Posteriormente la salmuera pasa al tanque receptor de salmuera con una capacidad de 4 m³ y esta equipado con su transmisor de nivel enlazado a su válvula de control de nivel.

Debido a que en nuestro proceso se utiliza sal proveniente del mar trae consigo microorganismos los cuales tapan las velas en la filtración de salmuera por lo que el cloro se deja pasar a los saturadores en un rango de 50 a 100 ppm para matar los microorganismos y con ello evitar que se tape el filtro. Para evitar que el cloro llegue a la resina de intercambio iónico se le adiciona bisulfito de sodio diluido en el primer tanque reactor de la precipitación de salmuera y con la agitación que cuenta en el tanque se neutraliza el cloro residual.

5.1.6 PRECIPITACIÓN DE SULFATOS.

El sulfato (SO₄⁻²) contenido en la sal bruta, normalmente en forma de sulfato de sodio (Na₂SO₄) es dañino para el sistema de electrólisis. Este puede ser perjudicial para el recubrimiento del ánodo debido a que su efecto es acumulativo. Una de las maneras de mantener el sulfato en niveles aceptables (<5 gpl) es tener una purga constante de salmuera del sistema. En este caso la planta cuenta con la unidad de remoción de sulfato mediante la adición de cloruro de calcio, para formar sulfato de calcio.

La solubilidad del sulfato de calcio es muy baja por lo que precipita y se puede eliminar fácilmente mediante filtración. Además, este cloruro de calcio adicionado ayuda a mantener una buena relación Ca/Mg que facilita la precipitación en la filtración.

Este sistema consiste en dos tanques de preparación de solución de cloruro de calcio T-105 A/B provistos de agitadores para mejorar su mezclado. La adición de cloruro de calcio se hace manual y se diluye en agua desmineralizada hasta una concentración de 20%. La disolución se envía por bomba al tanque reactor el cual cuenta con agitación mediante burbujeo de aire y el tiempo de residencia es de aproximadamente de 1 hora. La salmuera que entra al tanque reactor y que reacciona con el cloruro de calcio rebalsa al decantador T-109. En el cual el sulfato precipita y es separado de la salmuera. La salmuera retorna al proceso enviándose al saturador. Los lodos generados son enviados por bomba al filtro prensa para su secado.



5.1.7 OPERACIÓN DEL FILTRO PRENSA.

El filtro prensa está diseñado para la separación de sólidos de la salmuera y para la remoción simple de las tortas de lodos. Los elementos de este filtro son de polipropileno. En un total de 60 platos. Este filtro cuenta con un sistema de control de cierre del filtro con el uso de una válvula neumática de diafragma, que permite obtener tortas de lodos mejor distribuidas para alargar la vida de los platos y de las mallas filtrantes. Los lodos que le son enviados son principalmente de la pileta del filtro de salmuera y del decantador.

El ciclo de filtrado que consiste en el bombeo del líquido, termina, la bomba debe parar de alimentar. A esto sigue una purga de aire para secar el lodo. Después se retrae el pistón, y cada elemento filtrante es separado individualmente y la torta es recibida en un dique colector. Cuando la torta es removida de todos los elementos, el pistón se extiende, el sistema hidráulico se presuriza y el filtro está listo para iniciar un nuevo ciclo.

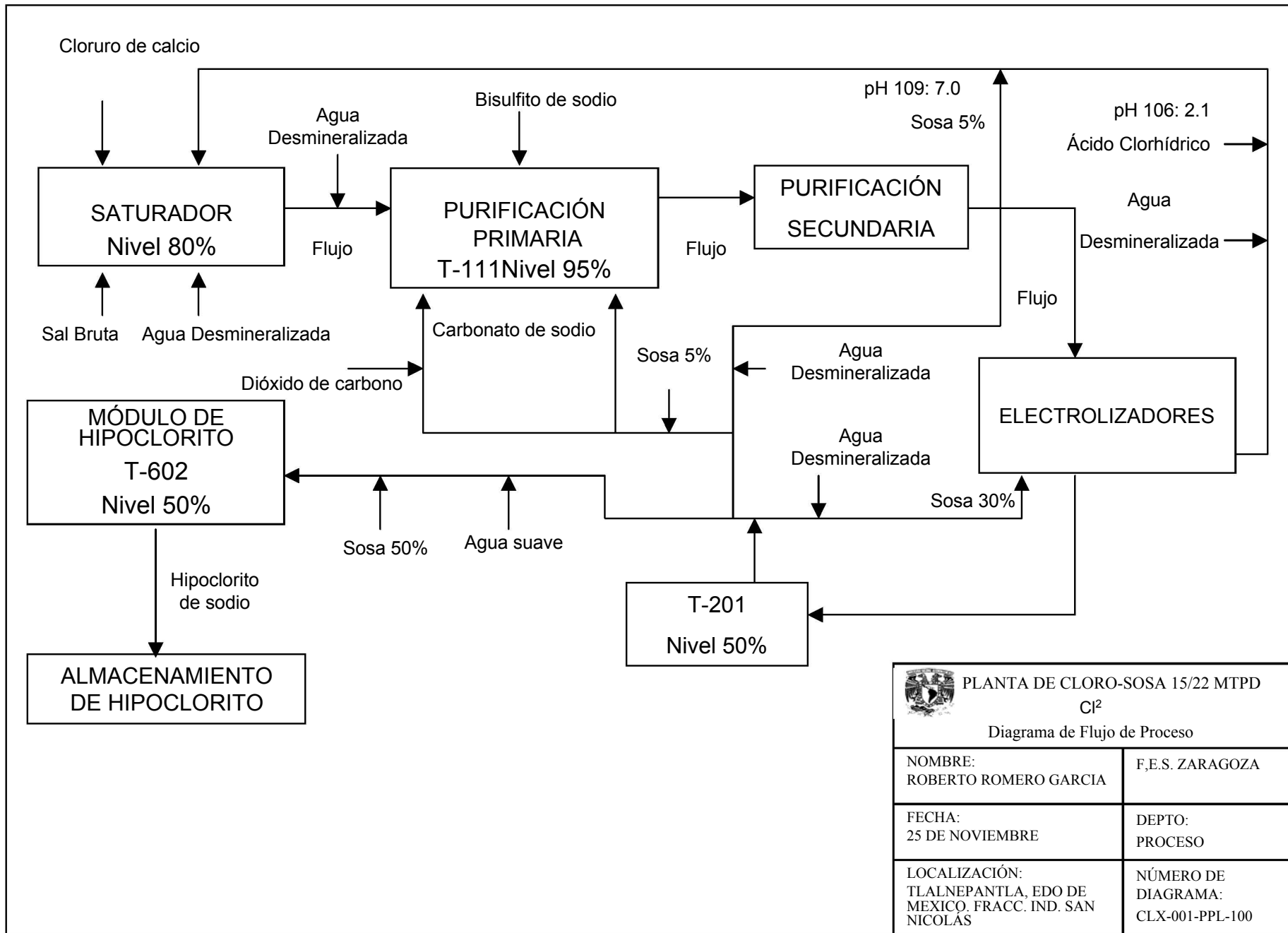
La etapa de electrólisis de la planta es la parte más importante del proceso ya que en los dos electrolizadores se forma sosa cáustica, cloro gas e hidrógeno que son los productos principales de la reacción. En la operación y mantenimiento de la planta, el cuidado de los electrolizadores es una parte fundamental.


La energía eléctrica necesaria para el proceso de electrólisis (Aproximadamente 2000 – 2500 kVA) se suministra a través de una entrada de alta tensión a 23 a KV y se rectifica a corriente continua con una unidad trafo-rectificadora de corriente. El proceso de electrólisis a membrana no genera efluentes nocivos al medio ambiente.

La vida útil de la membrana es normalmente de más de 3 años. La actividad anódica es mayor a 6 años. Los cátodos pueden ser reactivados en operación por medios químicos. Después de estos periodos es conveniente reemplazar la membrana y reactivar los ánodos.

5.2 CIRCUITO DE CATOLITO

El circuito del catolito comprende: Un tanque, Sus bombas y el intercambiador. El tanque de catolito recibe la producción de sosa cáustica, NaOH al 32%, siendo parcialmente recirculada a las celdas, pasando a través del intercambiador de calor del catolito para su refrigeración o calentamiento de acuerdo a las necesidades del proceso. El agua desmineralizada necesaria para la dilución de la sosa se alimenta al circuito de catolito. La producción de sosa es bombeada a otro intercambiador de calor que su función es enfriar la sosa para hipoclorito, que al mismo tiempo se diluye con agua suave para ser enviada al tanque elevado de depósito donde se alimenta al proceso de absorción de cloro y generación de hipoclorito de sodio.



 PLANTA DE CLORO-SOSA 15/22 MTPD C ² Diagrama de Flujo de Proceso	
NOMBRE: ROBERTO ROMERO GARCIA	F.E.S. ZARAGOZA
FECHA: 25 DE NOVIEMBRE	DEPTO: PROCESO
LOCALIZACIÓN: TLALNEPANTLA, EDO DE MEXICO. FRACC. IND. SAN NICOLÁS	NÚMERO DE DIAGRAMA: CLX-001-PPL-100



5.3 UNIDAD DE HIPOCLORITO

La unidad hipoclorito consiste en dos torres de absorción de cloro y un scrubber, con tres bombas de recirculación A, B, C; un Intercambiador de calor que enfría el hipoclorito y dos extractores de aire. La unidad de hipoclorito tiene la función de producir hipoclorito de sodio y al mismo tiempo absorber todo el cloro producido en el proceso, impidiendo así, durante cualquier evento, un posible escape al medio ambiente.

La absorción de cloro se efectúa en dos etapas redundantes con una solución diluida de sosa cáustica. La segunda torre sirve de torre policía y tiene la capacidad de absorber todo el cloro generado en caso de una falla en la primera. La bomba C sirve de reserva para cualquiera de las dos etapas instaladas. El calor de reacción se elimina con el Intercambiador usando agua de enfriamiento en circuito cerrado.

El exceso de sosa cáustica necesario para la reacción y la estabilidad del hipoclorito de sodio se adiciona con sosa 50% NaOH proveniente de fuente externa. La cantidad de sosa adicionada es controlada por un medidor de pH y redox. A la salida de la torre el aire es aspirado por medio de un extractor manteniendo la presión ligeramente negativa o cero en el sistema de tuberías de cloro.

La sosa cáustica diluida es producida en forma automática por mezcla de la sosa al 32 con sosa al 50 y agua de proceso. Esta sosa es transferida a un tanque elevado del cual se alimenta la absorción de cloro para la producción de hipoclorito. En caso de falla de la energía eléctrica la sosa cáustica de este tanque es drenada por gravedad hacia las dos torres de absorción para eliminar todo el cloro residual (volumen muy pequeño) contenido en las tuberías de la planta.

La producción de hipoclorito es enviada a los tanques de almacenamiento existentes con la bomba de transferencia de hipoclorito.



CONCLUSIONES:

El agua es probablemente el recurso natural más importante del mundo, ya que sin ella no podría existir la vida y la industria no funcionaría. A diferencia de muchas otras materias primas, el agua no tiene sustituto en muchas aplicaciones. El agua tiene un papel vital en el desarrollo de las comunidades, ya que es indispensable que su abastecimiento sea seguro para una comunidad se establezca permanentemente.

El concepto de agua como un recurso natural que debe administrarse cuidadosamente es muy necesario ya que las poblaciones en desarrollo y los complejos industriales tienen demandas de agua siempre crecientes.

En la actualidad está aumentando en proporciones gigantescas el requerimiento del agua y con lo cual también se ha hecho difícil y complicado toda la infraestructura de extracción y de suministro del agua por lo que los costos han aumentado enormemente y se requiere tener alternativas de reutilización del agua para poder satisfacer a las grandes poblaciones las demandas del vital líquido y es aquí donde es importante los métodos, mecanismos de desinfección y se han vuelto una herramienta importante para controlar y verificar la calidad del agua.

Con esto tratar de evitar problemas de salud masivos por lo que se han tenido que crear una gran gama de equipos, materias primas para tratar el agua y lo que ha llevado a probar diferentes maneras o medios para hacer más fácil su reutilización y este problema a creado una industria como tal, en la cual siempre trata de ir mejorando sus procesos y químicos; De toda la variedad de productos químicos que hay el **Cloro** es el más utilizado gracias a sus ventajas económicas de obtención y de poder desinfectante que lo hacen el más usado dentro de esta industria, ya que se ha demostrado que tiene una gran flexibilidad, adaptabilidad de uso que hace que se distinga sobre sus competidores más cercanos como el ozono, la plata, el yodo, dióxido de cloro, etc. y la principal razón de su tremendo uso en los grandes complejos de tratamiento de agua es su costo el cual es mucho menor sobre los demás químicos.

Este trabajo me hizo ver que la problemática del agua va más allá de lo que uno se puede imaginar y de todo lo que hay detrás en la elaboración de cada litro de agua que se suministra a las grandes ciudades y también de lo complejo de todo el sistema de agua nacionales y de cuanto esfuerzo está invertido para garantizar un producto de la más alta calidad.

También me deja claro que tenemos que cambiar nuestra manera de ver el agua como un recurso natural interminable, ya que hoy en día ya hay una escasez de producto y de todo el daño que estamos generando a la naturaleza al estar saqueando los mantos acuíferos de manera irracional. Debemos adquirir una madurez y una cultura del cuidado del agua y de la reutilización de la misma.



Por lo cual se deja de este trabajo una guía de consulta rápida para el estudiante, en la cual trata de plasmar un poco las razones o motivos más importantes de reutilizar el agua y de cómo debemos tratar el agua; con que mecanismos o medios contamos para su tratamiento, cuales son las materias primas más utilizadas en los procesos de desinfección con sus ventajas y desventajas de uso, de manejo, etc.

También un proceso industrial que hoy en día se lleva a cabo en la elaboración de la materia prima más importante y que se ha usado durante mucho tiempo, que es el cloro. Como se ha comentado durante el trabajo el producto desinfectante más utilizado y requerido es el Cloro por lo que hoy en día el crecimiento de este producto va hacia la alza, con esto también al requerimiento de producir más y con ello hacer más plantas de producción de este tipo. Este tipo de planta son requeridas actualmente con mayor fervor debido a las nuevas leyes que están bloqueando los transportes de cloro líquido, esto es por su gran peligrosidad y el gran potencial de crear un desastre.

La producción de Cloro gas por medio de estas plantas (procesos) es muy seguro y de gran beneficio económico ya que el requerimiento de las materias primas es de primera mano como lo es la Sal, agua, sosa cáustica, ácido clorhídrico; ya que estos productos son de consumo primario en la industria y es algo que lo hace muy atractivo para poder llevarlo a cabo.

El proceso de producción es muy limpio, seguro y no se necesitan grandes instalaciones para poder llevar a cabo su implementación.



BIBLIOGRAFÍA:

- "Calidad del Agua", Jairo Alberto Romero Rojas, 2da edición, Editorial Alfaomega, México, 1999, Pp: 193 a 218.
- "Alternativas de tratamiento de Aguas Residuales", Cesar G. Calderón Molgora, IMTA, México, 2000, Pp: 28 a 42.
- "Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales", Gordon Maskew Fair, John C. Geyer, Ed. Limusa, México, 1979, Pp: 403 a 435.
- "Ingeniería Ambiental, Contaminación y tratamientos", Ramón Sansfon Fria, Joan de Pablo Ribas. Ed. Alfaomega, Colombia, 1999, Pp: 109 a 113.
- "Ing. Sanitaria, Tratamiento, evacuación y neutralización de aguas residuales", Metcalf y Eddy. Inc., Ed. Labor, 2da edición, España, 1985, Pp: 311 a 341.
- "Tratamiento de Aguas Residuales", R.S. Ramalho, Ed. Reverte, España, 1996. Pp: 636 a 642.
- "Water Treatment Principles and Design", James M. Montgomery, Consulting Engineers, Inc., John Wiley and Sons; Inc. USA, 1985,
- "Waste Water Treatment Plants, Planning, Design and Operation", Syed R. Qasim, 2 edición, CRC Press, USA, 1999,
- "Fundamentos de Control de la Calidad del Agua", Tebbutt. T.h.y, Ed. Limusa, México, 1990, Pp: 13 a 62.
- "El Agua y la Ciudad al Fin del Milenio", Departamento del Distrito Federal, Secretaria de obras y Servicios, Dirección General De Construcción y Operación Hidráulica. México, 1994-1997, Pp: 15 a 22 y 67 a 71.
- "Estrategia para la Ciudad de México 2000", Subdirección de Programación, México, 1994.
- "Compendio de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica", Ing. Antonio Dovali Ramos, Ed. Subdirección de Programación, México, 1999, Pp: 9 a 13, 25 a 39, 43 a 64, 69 a 81.
- "Plan de Acciones Hidráulicas 2001 –2005", Delegación Venustiano Carranza, México, Pp: 39 a 40, 70 a 95.
- "Potabilización del Agua", Jairo Alberto Romero Rojas, 3 edición, Ed. Alfaomega, México, 1999, Pp: 247 a 262.
- "Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales", Metcalf Eddy, Ed. McGraw Hill – Labor, Barcelona, 1981, Pp: 496 a 505.
- "Manual de Tratamiento de Aguas", New York Departamento de Sanidad, Ed. Limusa – Wiley, México, 1964.



- "Remoción de Huevos de Helminto en Aguas Residuales por Cinco Tecnologías Diferentes sobre el Sistema de Tratamiento Primario Avanzado (TPA)", Germán Salgado Velázquez, Instituto Tecnológico de Orizaba, Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, 1998, Pp: 16 a 29.
- Norma Oficial Mexicana, NOM-001-SEMARNAT-1996.
- Norma Oficial Mexicana, NOM-002-SERMANAT-1996.
- Norma Oficial Mexicana, NOM-003-SEMARNAT-1997.
- Norma Oficial Mexicana, NOM-041-SSA1-1993.
- Norma Oficial Mexicana, NOM-127-SSA1-1994.