

MANUAL PARA DESINFECCIÓN DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE



PRÓLOGO:

El suministro de agua potable implica diversos aspectos entre los que se encuentra la adecuación de su calidad para consumo humano.

Para ello se requiere encontrar la forma más conveniente de hacerlo, tanto desde el punto de vista técnico como del económico. Lo más común es efectuar el suministro de agua a partir de las denominadas fuentes convencionales, compuestas por las aguas subterráneas (acuíferos) y las superficiales (ríos, lagos y presas).

Rara vez se acude a las no convencionales, que son los acuíferos salados, el agua de mar y el agua negra.

Por su elevada calidad, se prefiere potabilizar aguas de acuíferos para los cuales basta con aplicar cloración y en algunos casos eliminar hierro y manganeso.

En cambio, para aguas superficiales se requieren que incluyan procesos como coagulación-floculación, sedimentación, filtración y por supuesto, desinfección con cloro.

INTRODUCCIÓN:

En 1855, John Snow, un médico inglés, después de siete años de intensa investigación publicó sus conclusiones sobre cómo el agua podría representar el mecanismo de transmisión de enfermedades tan temibles como el cólera. Aseguraba que la enfermedad era causada por "algún tipo de veneno" del agua potable.

Como resultado, los responsables del suministro público iniciaron nuevas y diversas actividades para prevenir enfermedades hídricas; siendo la filtración lenta en arena, una de las primeras. Posteriormente, en la década de 1870, Louis Pasteur y Robert Koch desarrollaron la teoría de que las enfermedades eran causadas por gérmenes.

En 1881, Koch encontró que el cloro podía matar bacterias dando inicio a la industria de la desinfección del agua, que está marcada por los siguientes eventos:

- En 1890, se construye la primera planta de generación electrolítica de cloro en Alemania.
- En 1898, se registra la primera patente de desinfección con cloro en Estados Unidos.
- En 1905, se usa por primera vez la cloración continua en Lincoln, Inglaterra, para controlar una epidemia de tifoidea.
- En 1908, Johnson regula el uso de la desinfección en la planta de filtración de Bubbley Creek en Chicago, Estados Unidos.
- También en 1908, Chick y Watson desarrollaron de forma independiente, la teoría de la desinfección, la cual establece que el grado de destrucción de patógenos es proporcional al número de ellos y a la concentración del desinfectante.

DESINFECCIÓN:

Es la destrucción de organismos potencialmente dañinos a niveles que no sean patógenos y comúnmente, constituye la etapa final de todo tratamiento del agua.

Su práctica es aceptada en todo el mundo y si bien, la cloración es el método dominante, algunos países como Francia (desde 1910), Alemania y Canadá prefieren la desinfección con ozono.

Otras opciones, aunque de menor utilización son la luz ultravioleta (UV), el yodo y la radiación gamma.

Un desinfectante ideal para el agua debe cumplir con:

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

Comparación de los diferentes métodos de desinfección.

Características	Cloro	Hipoclorito de sodio	Hipoclorito de calcio	Ozono	UV
Toxicidad a microorganismos	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Solubilidad	Ligera	Alta	Alta	Alta	N.A.
Estabilidad	Estable	Ligeramente estable	Relativamente estable	Inestable	Debe generarse al usarse
Toxicidad a formas de vida superiores	Alta	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico
Homogeneidad	Homogéneo	Homogéneo	Homogéneo	Homogéneo	N.A.
Interacción con materia extraña	Oxida materia orgánica	Oxidante activo	Oxidante activo	Oxida materia orgánica	Moderada
Toxicidad a temperatura ambiente	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Penetración	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada
Capacidad desodorizante	Alta	Moderada	Moderada	Alta	N.A.
Disponibilidad	Bajo costo	Costo bajo a moderado	Costo bajo a moderado	costo de moderado a alto	costo de moderado a alto
Corrosión	Altamente corrosivo	Corrosivo	Corrosivo	Altamente corrosivo	N.A.

Principales enfermedades relacionadas con el agua

Tipo de relación con el agua	Enfermedad
Ingestión	Cólera
	Hepatitis
	Leptospirosis
	Paratifoidea
	Tuleremia
Ingestión o contacto	Tifoidea
	Disentería ambiana
	Disentería basilar
	Gastroenterosis
Contacto	Ascariasis
	Conjuntivitis
	Enfermedades diarreicas
	Lepra
	Sepsis y úlceras de la piel
	Tiña
	Tracoma
Sirve para el desarrollo de los microorganismos	Gusano de Guinea
	Esquistosomiasis
	Paludismo
Promueve vectores	Oncocercosis
	Enfermedades del sueño
	Fiebre amarilla

OBJETIVO:

Proporcionar al personal técnico de los sistemas operadores la información necesaria para entender el funcionamiento, revisar la operación o propuesta de diseño de un sistema de desinfección de agua, sea potable o residual.

En general trata de presentar:

- La importancia sanitaria del suministro para consumo humano.
- Describir las características y sensibilidades a la desinfección de los diferentes agentes biológicos.
- Dar las bases de los principales métodos de desinfección: físicos (filtración, temperatura, sedimentación, radiación, procesos electrolíticos, entre otros) ó químicos (yodo, bromo, plata ionizada, ozono y cloro).
- Describir con detalle los tres procesos de desinfección de mayor importancia, que de acuerdo con el grado de utilización actual son:

I. Cloración

II. Ozonación

III. Luz UV

IMPORTANCIA SANITARIA DE LA DESINFECCIÓN:

El agua para consumo humano puede estar contaminada por diversos microorganismos parásitos patógenos de origen fecal (bacterias, protozoarios, helmintos y virus), que incapaces de vivir de forma independiente permanecen asociados a un huésped, del cual obtienen las condiciones adecuadas para su supervivencia (espacio, alimento y protección).

Como consecuencia ocasionan una serie de enfermedades infecciosas principalmente del tracto gastrointestinal, que en la actualidad constituyen uno de los mayores problemas de salud pública, sobre todo, en la población infantil y preescolar de los países en desarrollo. Se estima que ocurren 1,647 millones de episodios diarreicos por año en menores de cinco años y que cada año son la causa de 5 millones de decesos a nivel mundial.

En México, la tasa de mortalidad por diarreas para niños menores de cinco años corresponde a 33.3 muertes por cada 100 000, lo que representa que diariamente mueren por este concepto 14 niños. En el Valle del Mezquital el riesgo de muerte por diarreas en niños es 13 veces mayor que en el resto del país, por lo que se calcula que ocurren 2,165 defunciones al año y 6 al día (INEGI, 2010 y Cifuentes etc. al 2010).

VIRUS:

Más de 120 tipos son capaces de infectar el tracto digestivo humano y ser eliminados en las heces. Un gramo de heces humanas puede contener hasta 10⁹ partículas infecciosas virales diferentes, independientemente de que el individuo presente alguna manifestación clínica de enfermedad. Los virus no se multiplican en el medio ambiente, no obstante, pueden sobrevivir por varias semanas, especialmente si las temperaturas son bajas (< de 15 °C). Los grupos patógenos de importancia como contaminantes de agua incluyen: adenovirus, enterovirus (polio virus y virus de la hepatitis A), reo virus y virus causantes de diarrea, especialmente rotavirus y virus tipo Norwalk.

BACTERIAS:

En las diferentes fuentes de agua (superficiales y subterráneas), puede encontrarse diversos tipos de bacterias, algunas de las cuales son indígenas o nativas, y por lo tanto pueden ser benéficas, ya que de ellas depende en gran medida el proceso de autopurificación.

Sin embargo, otras, tiene su origen en las excretas de humanos y animales de sangre caliente.

Entre las parásitas existen las que se denominan patógenas debido a que, al infestar al huésped, producen sustancias nocivas que lo afectan.

El agua se convierte en el medio ideal para su transporte, dando con ello origen a las llamadas enfermedades hídricas.

Para evaluar la calidad del agua se realizan pruebas sistemáticas de laboratorio que permiten estimar la magnitud del deterioro y que consisten en determinar indicadores bacteriológicos.

CONDICIONES GENERALES PARA LA DESINFECCIÓN:

En este apartado se describirán los factores más importantes y comunes de cualquier proceso de desinfección, como lo son:

- Tiempo de contacto
- Tipo y concentración del agente químico
- Intensidad y naturaleza del agente físico
- Temperatura
- Número de microorganismos
- Naturaleza del agua

MÉTODOS DE DESINFECCIÓN:

La desinfección dentro de los sistemas de tratamiento de agua potable sirve para destruir microorganismos capaces de causar enfermedades de origen hídrico y es considerada como el mecanismo esencial para proteger a los seres humanos de la posible exposición a focos infecciosos por este medio.

Llevar a cabo la desinfección del agua es muy importante, la elección del tipo de proceso se hace con base en los costos, la eficiencia y posible automatización.

La desinfección se puede realizar por aplicación de calor, luz, agentes químicos oxidantes, ácidos y álcalis, iones metálicos o contacto con superficies activadas químicamente.

Los procesos por los cuales los organismos patógenos pueden ser dañados se clasifican como físicos o químicos.

PRINCIPALES MÉTODOS DE DESINFECCIÓN:

Métodos físicos	Filtración
	Temperatura
	Sedimentación
	Radiación (solar, luz UV, Gamma)
	Proceso electrolíticos
Métodos químicos	Yodo
	Bromo
	Plata ionizada
	Ozono
	Cloro

COLORO:

Características:

Es un desinfectante de gran poder bactericida, aún en dosis pequeñas. Es económico y de fácil empleo, aunque requiere precaución en su manejo.

Es el reactivo más usado a nivel mundial tanto en los sistemas de agua potable como residual.

El cloro se encuentra en las siguientes presentaciones comerciales:

Cloro sólido: | Hipoclorito de Sodio:
| Hipoclorito de Calcio:

Cloro Líquido: | Cloro Líquido (Gas Comprimido):

A continuación se describe con mayor detalle las presentaciones más comunes.

En condiciones ambientales de presión y temperatura, es un gas amarillo verdoso, con olor irritante característico.

Puede licuarse fácilmente mediante compresión, es inflamable, aunque en su forma gaseosa mantiene la combustión de algunos materiales.

El cloro se produce en forma gaseosa por electrólisis de una solución de cloruro de sodio, químicamente es un elemento muy activo, motivo por el cual no se encuentra en la naturaleza en estado libre sino asociado con otros elementos como, por ejemplo, el sodio con el cual forma el cloruro de sodio o sal común, reacciona fácilmente con

sustancias explosivas, por lo cual no debe almacenársele cerca de zonas habitadas o lugares de trabajo.

El cloro se combina con diferentes compuestos rápidamente incluyendo los nitrogenados (Droste, 2009). Se usó por primera vez con fines sanitarios en 1851 en Londres para desodorizar lodos.

En agua, como método continuo de desinfección se empleó hasta 1908 en Bubbley Creck, Chicago.

Actualmente, el cloro se aplica tanto en potabilización como depuración e incluye funciones adicionales a la desinfección, como son el control de sabor y olor, la prevención del crecimiento de algas en la infraestructura hidráulica, el mantenimiento de filtros, la remoción de hierro y manganeso, la destrucción del ácido sulfhídrico, la remoción de color por ciertos colorantes orgánicos y el mantenimiento de sistemas de distribución de agua (para controlar el limo).

Hoy en día, se dispone de nuevos y eficientes sistemas para el manejo, control y análisis de la cloración y por ello es el método de desinfección más utilizado a nivel mundial (87% de los procesos, Huebner, 2010 y en el país).

Lo anterior también contribuye a su bajo costo, confiabilidad, eficiencia, pero, sobre todo, el efecto residual que guarda después de ser aplicado y que le permite continuar desinfectando aún después de que el agua haya salido de la planta de tratamiento; característica, que ningún otro método común de desinfección posee.

HIPOCLORITO DE SODIO:

Soluciones diluidas (menores que 1 %) pueden ser generadas electroquímicamente a partir de una solución de sal.

Las soluciones de grado industrial y comercial (blanqueadores de ropa) tienen un contenido de hipoclorito del 6 al 14%.

El principal problema es que son inestables y su descomposición depende de la concentración del hipoclorito, la temperatura de almacenamiento, tiempo, las impurezas y la exposición a la luz.

La descomposición del hipoclorito afecta las tasas de dosificación y genera subproductos indeseables.



HIPOCLORITO DE CALCIO:

Conocido también como cloruro de cal, es producido al adicionar monóxido de cloro al agua y neutralizar con lechada de cal para crear una solución de hipoclorito de calcio, posteriormente, se elimina el agua de la solución para dejar el hipoclorito de calcio en forma granular, el contenido de cloro activo varía del 30 % al 70 %.

Se suministra en dos presentaciones, la primera y más común tiene una apariencia granular. Es de color blanquecino y se envasa en cuñetes de 45 kg, en cubetas de polietileno, la segunda presentación viene en forma de tabletas y se envasa en cubetas de 45 kg.

El peso de las tabletas es de 0.007 a 0.30 kg y tienen un contenido de cloro activo del 65 %.



GAS:

El cloro gaseoso es licuado aplicándole presión a bajas temperaturas. Es un líquido de color ámbar con peso 1.5 veces mas que el agua y se envasa en cilindros de acero para su suministro de 68 ó 907 kg. El cloro líquido, también se distribuye en carro tanques especiales de 10, 15, 20 o más toneladas, contiene, para efectos prácticos, un 95 % de cloro activo.



VOCABULARIO ESPECÍFICO DE LA PRÁCTICA DE LA CLORACIÓN:

Cloro activo	Suma de cloro elemental y de todas las combinaciones oxidantes en un momento determinado. Es decir, se trata de cloro activo libre (como, ácido hipocloroso, ión hipoclorito y óxido de cloro) y del cloro activo combinado (cloro de acción oxidante combinado con amoníaco o aminas)
Cloro residual combinado	Cloro que permanece después de la reacción asociada con derivados de amoníaco y de materia orgánica.
Cloro libre residual	Cloro que permanece después de la reacción sin formar cloro combinado. Es la suma del HOCL y del OCL ⁻ no se presenta en la cloración de cloro libre residual.
Cloro residual total	Suma de cloro residual, el combinado y libre.
Cloración simple	Adición de cloro con fines de desinfección. Puede efectuarse en las fuentes de abastecimiento, tanques de almacenamiento y/o regulación, las líneas de conducción y diferentes sitios de la redes de distribución.
Cloro suficiente	Cantidad de cloro requerida para producir el residual deseado, ya sea combinado, libre ó total, después de un tiempo de contacto definido.
Demanda de cloro	Cantidad de cloro consumida por las sustancias reductoras, la materia orgánica y los microorganismos patógenos.
Descloración	Eliminación total o parcial del cloro residual contenida en el agua. Se realiza posterior a una sobre cloración con el fin de mantener el cloro residual a un nivel deseado, o bien, elimina, todo el residual antes de descargar el agua a un cuerpo acuático sensible.
Poscloración	Aplicación de cloro al final de tratamiento. Es un procedimiento normal en potabilizadoras y depuradoras.
Precloración	Aplicación de cloro antes de cualquier otro tratamiento, por ejemplo, en el caso de procesos de clarificación se aplica cloro a las aguas crudas para mejorar la coagulación, reducir o eliminar olores y sabores indeseables y detener el crecimiento de algas en la infraestructura.
Sobrecloración	Aplicación de cloro en cantidad superior a la requerida para desinfectar con objeto de obtener un residual.
Tiempo de contacto	Tiempo que debe transcurrir entre la dosificación del cloro y la eliminación de las bacterias patógenas. Varía en función de la calidad del agua y la dosis aplicada.

CLORACIÓN:

Materia orgánica

El cloro reacciona con la materia orgánica y sus derivados cambiando su estructura, tornándose inocuo y formando organoclorados de acuerdo con:

Cloro libre (residual) + Precusores (materia orgánica) ⇒ Organoclorados

La materia orgánica se encuentra en forma natural en el agua de suministro por la presencia de ácido húmicos o en forma artificial cuando las aguas negras (donde es un componente habitual) se mezclan con las fuentes de abastecimiento.

De acuerdo con Cáceres, 2010 por este último motivo se puede encontrar en el agua. Los principales factores son la dosis, el tiempo de contacto, la temperatura y el pH.

Tiempo de contacto:

Uno de los aspectos más importantes se refiere al tiempo disponible para que el cloro actúe sobre los microorganismos. Este tiempo de contacto debe ser como mínimo de 10 a 15 minutos en agua potable y de 15 a 30 minutos en agua residual.

FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE LA CLORACIÓN:

Sin embargo, es preferible dejar transcurrir el mayor tiempo posible para lograr una desinfección efectiva.

Temperatura:

La destrucción de microorganismos con cloro es mucho más rápida a mayor temperatura.

A pesar de esto, el cloro es más estable en agua fría lo que en la práctica compensa la menor velocidad de desinfección. Así, para lograr la misma acción a 4 °C que a 21 °C, la concentración de cloro residual debe ser el doble con los demás factores constantes.

pH:

Afecta la acción desinfectante del cloro, particularmente la del cloro residual combinado.

De forma general, mientras más alcalina sea el agua se requieren mayores dosis para una misma temperatura y tiempo de contacto (Bitton, 1994).

A un pH de 6.5 y una temperatura de 21 °C, 0.3 mg/l de cloro residual combinado causa un efecto letal al 100 % de bacterias.

A la misma temperatura y para lograr el mismo efecto, el cloro residual combinado debe aumentarse hasta 0.6 mg/l a pH de 7.0 y hasta 1.2 mg/l a pH de 8.5.

BOMBAS DOSIFICADORAS:

Aunque una solución de hipoclorito puede agregarse a un abastecimiento de agua mediante dispositivos improvisados, lo que con mayor frecuencia se usa es una bomba de diafragma.

Existen otros dispositivos disponibles, tales como los tanques de presión en los que se almacena la solución de hipoclorito, la cual es forzada a salir mediante bombeo de agua, aire o un aceite inerte, sin embargo, este último no suele usarse en plantas de tratamiento de agua.

La selección del equipo depende primordialmente de las características de cada instalación, como son: el tipo de fuente de abastecimiento, la calidad del agua, el caudal, la facilidad de acceso al sitio, la existencia o inexistencia de energía eléctrica y la capacidad técnica de los operadores.

Por ejemplo, cuando el agua que se va a tratar fluye a gasto uniforme, como en un abastecimiento por bombeo, el equipo controlado manualmente es el más adecuado.

Funcionamiento:

La bomba es accionada por un mecanismo denominado electroimán (solenoid) conectado al diafragma, cuando este es impulsado por el circuito de control, desplaza la válvula check, descargando el fluido a presión.

Componentes de un Dosificador

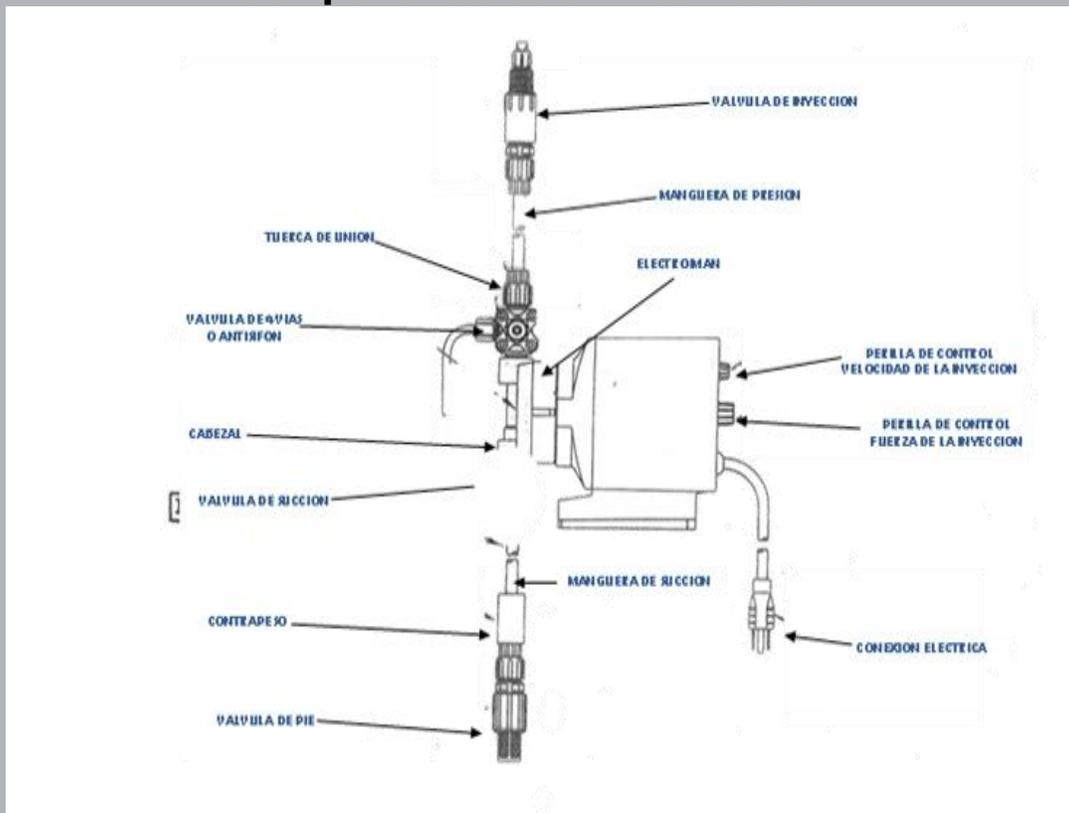
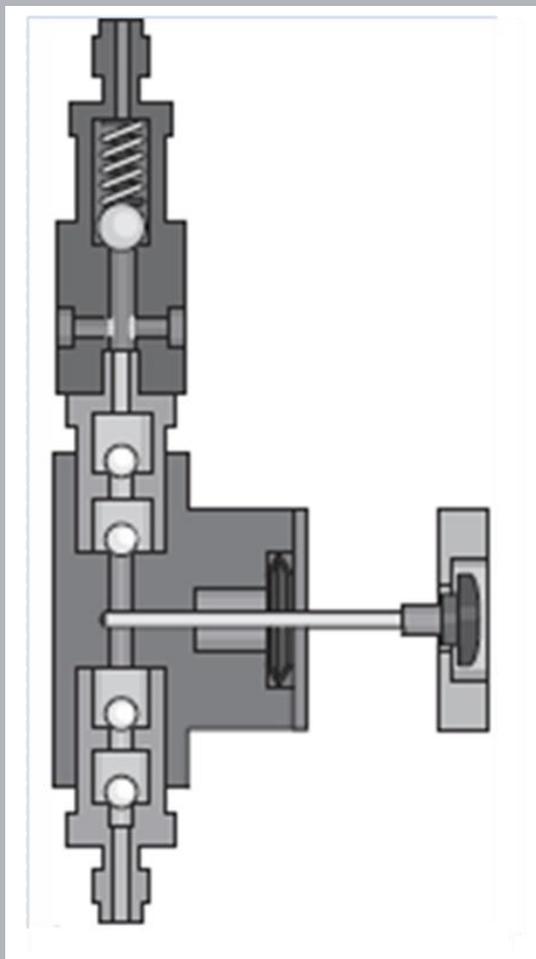
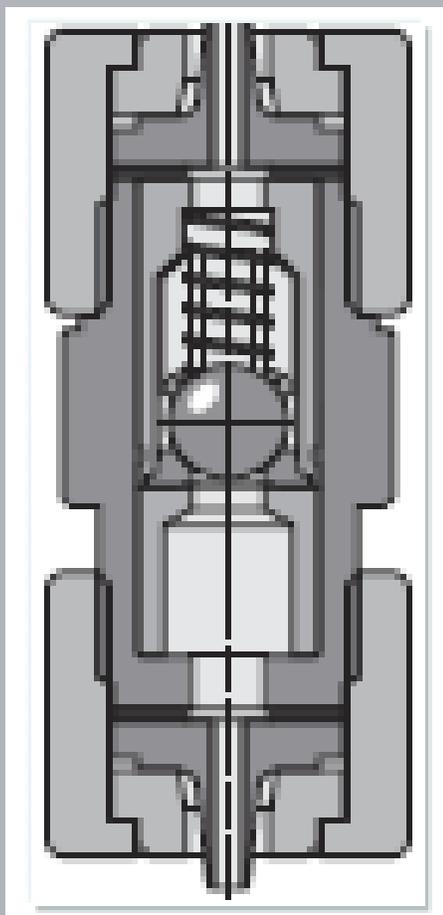


Diagrama del Cabezal



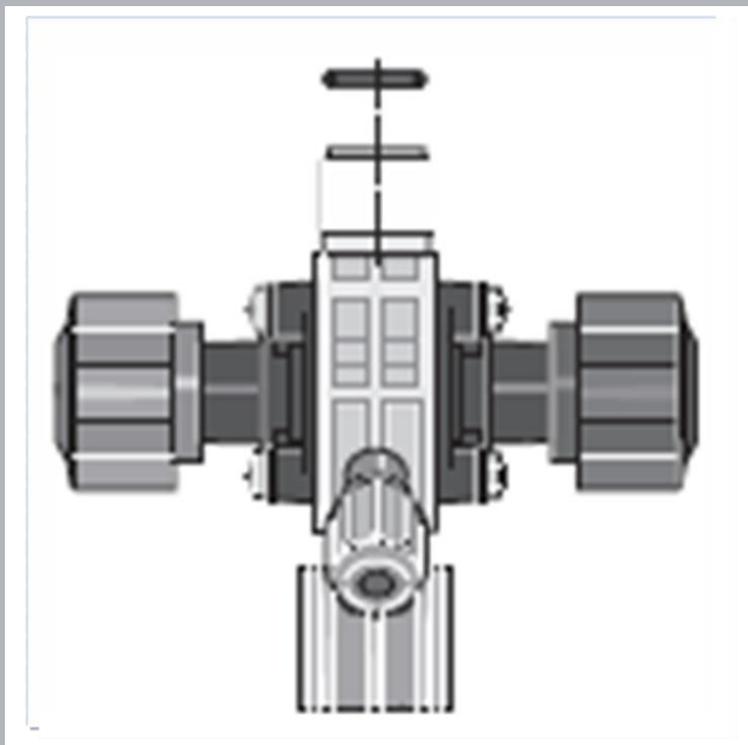
Debe ser de PVC, el pistón es de óxido cerámico con estopadas de teflón, las Válvulas de doble bola, una válvula de contrapresión integrada garantiza una dosificación constante independiente de la presión externa, con graduaciones de 0 a 40 bar de contrapresión.

Válvula Anti Retorno



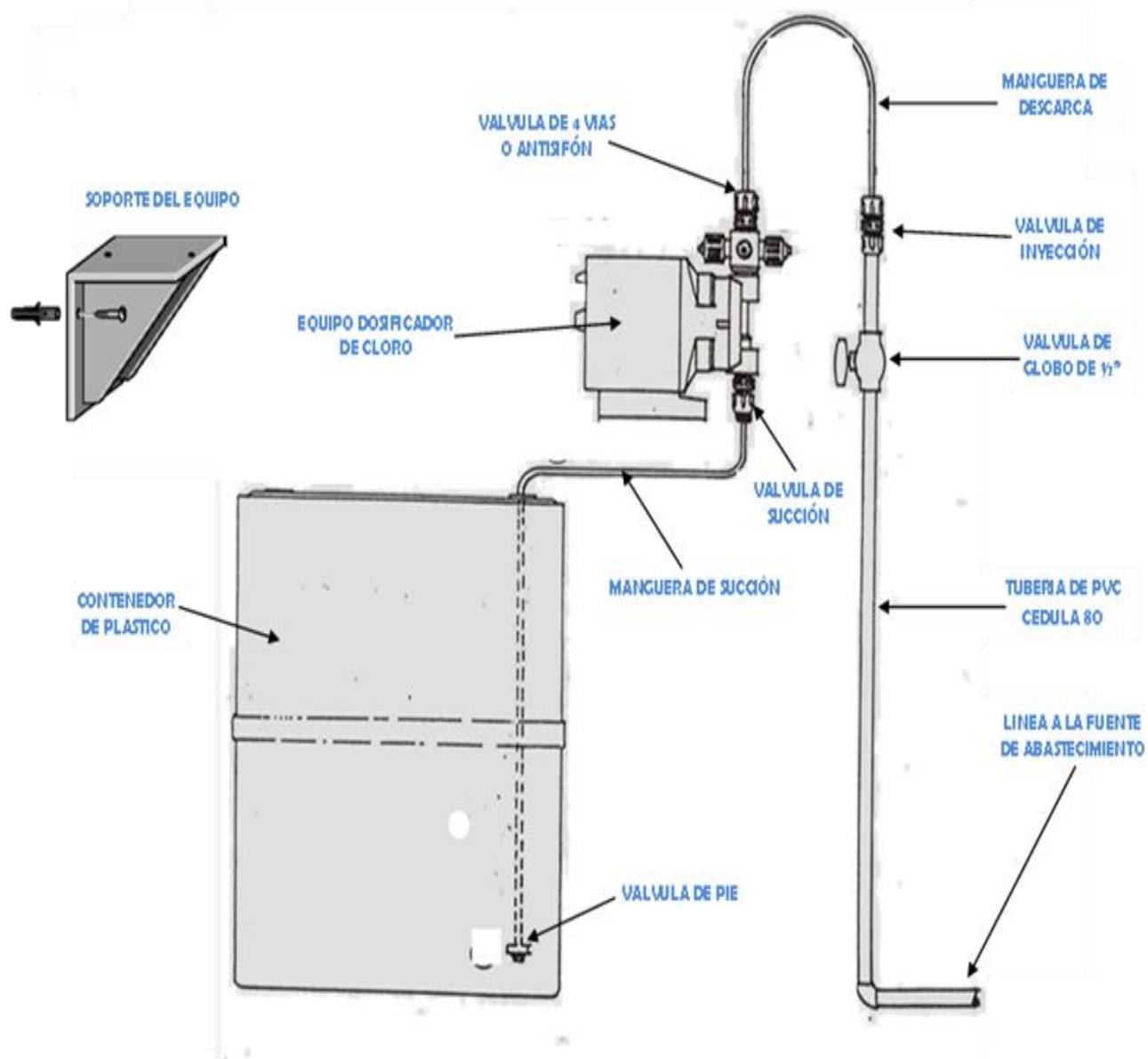
Con una bola anti retorno y un resorte de Hastelloy C para una contrapresión y presión de inicio de 17.2 kg/ cm².

Válvula Anti Sifón

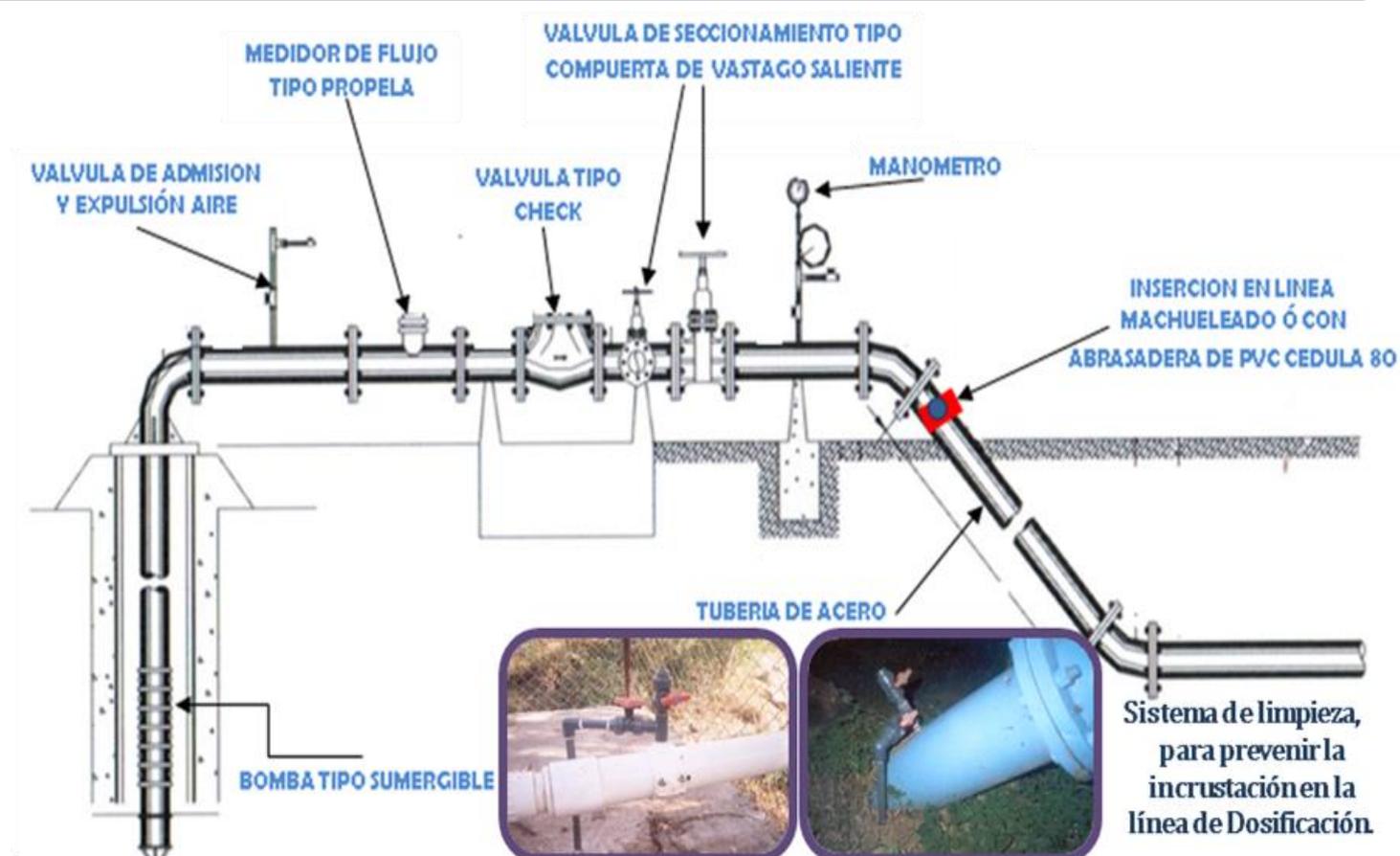


Válvula de contrapresión, con presión de apertura de 1.5 bar, con inyección a salida libre o presión positiva en el lado de la succión, válvula de seguridad, con presión de apertura de 6, 10 ó 16 bares, ayuda a encebar la bomba, con presión existente a la impulsión, sin necesidad de despresurizar las tuberías, es presurización de la línea de impulsión, vaciándola, para hacer el servicio técnico.

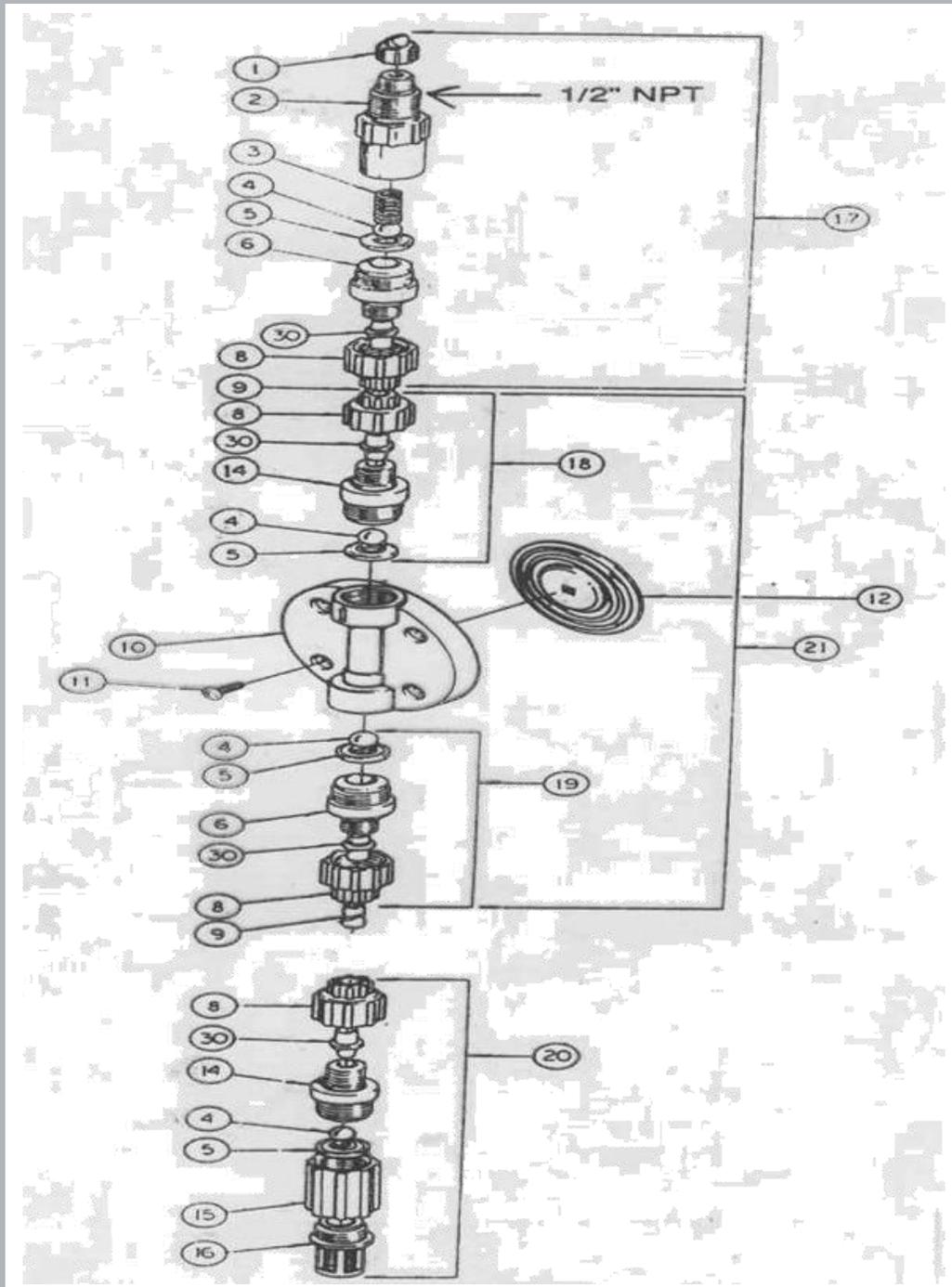
Instalación Correcta de un Dosificador



Sitio de Inserción en un Tren de Descarga de un Pozo Profundo



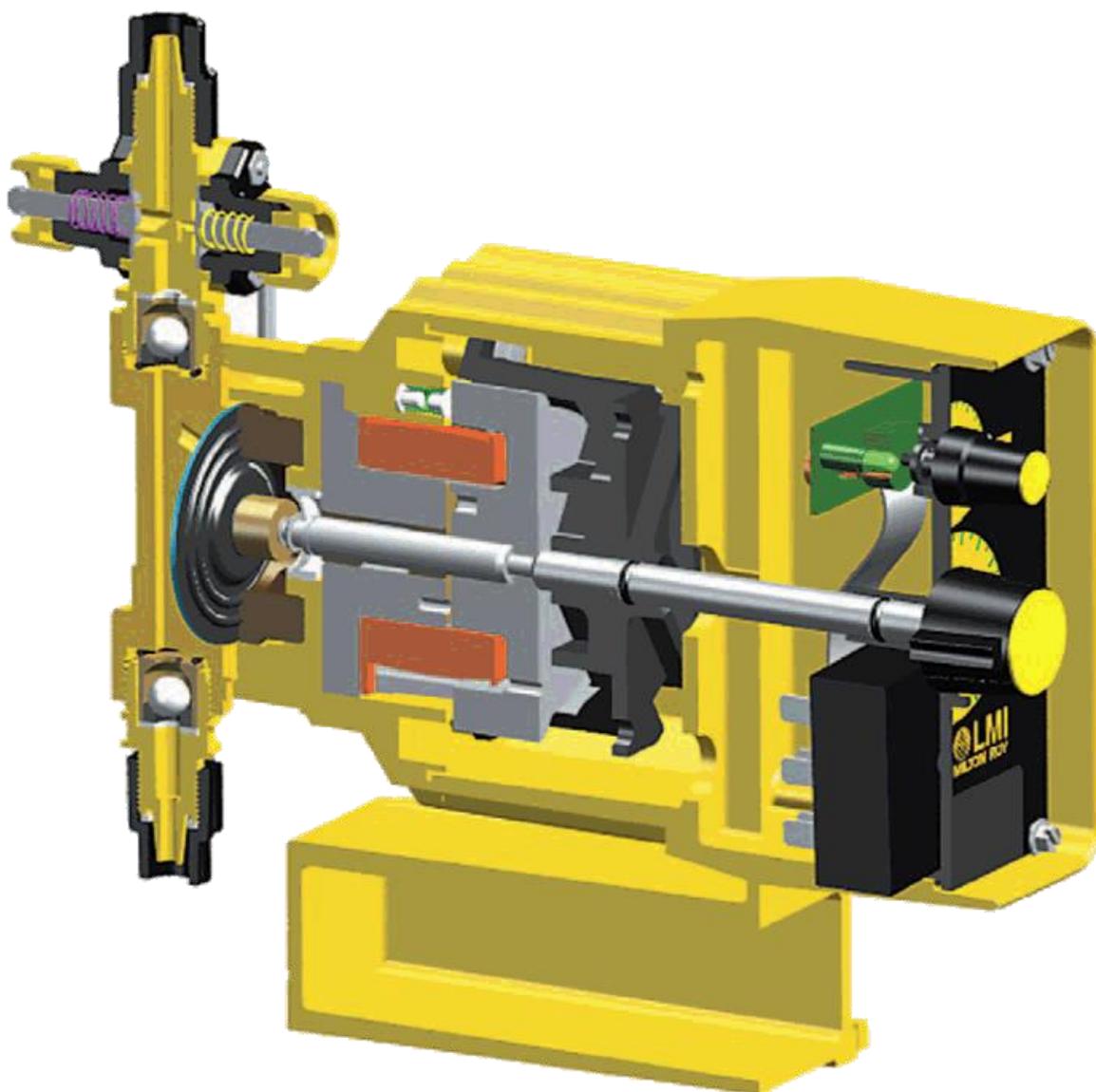
Manual de Ensamble Clorador Milton Roy LMI



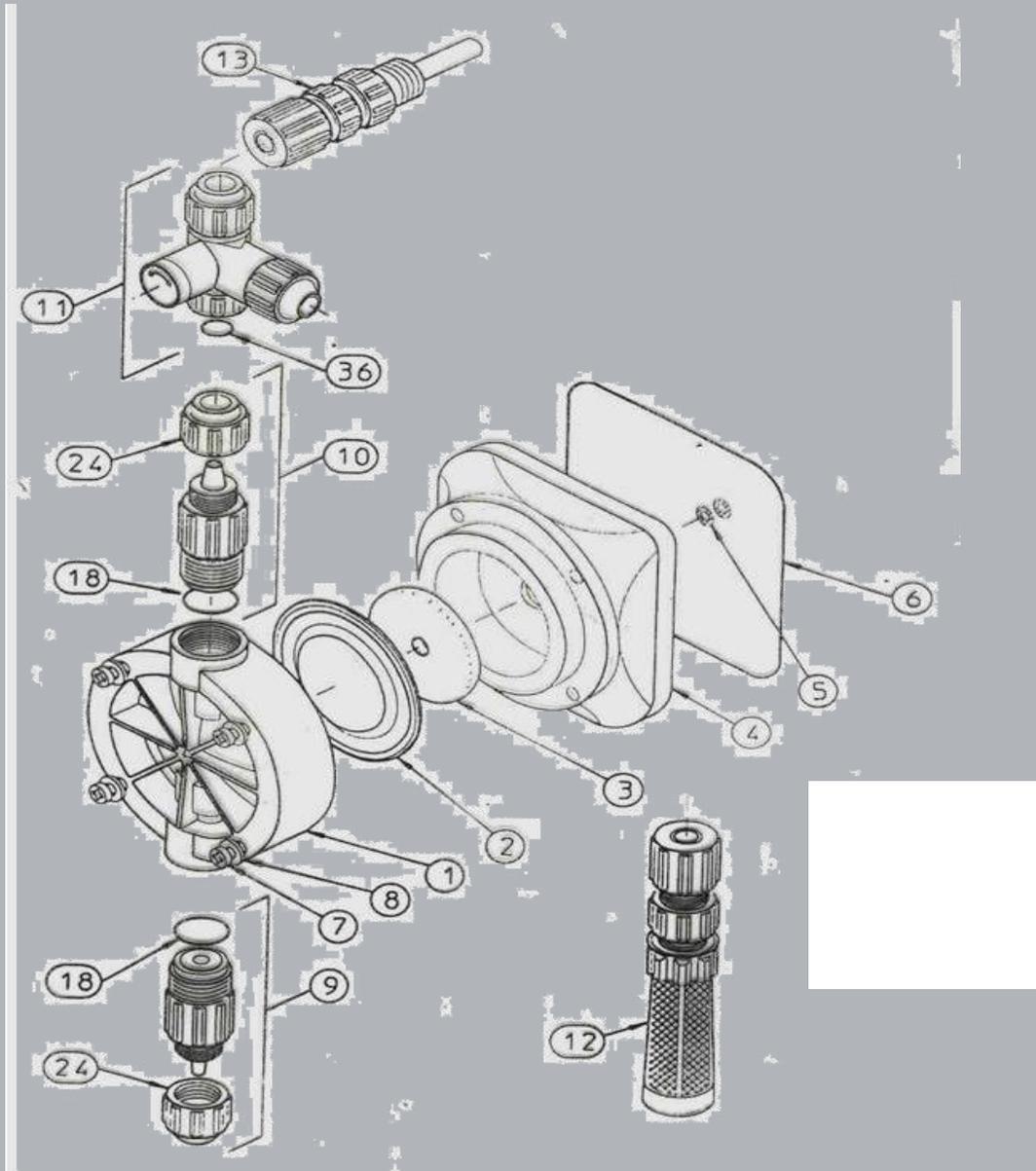
Refacciones Clorador Milton Roy LMI

No. Parte	Descripción	Cantidad	
		LE-168	LE-158 U
27352	Valvula Check	1	1
10294	Inyector	1	1
10339	Resorte	1	1
10336	Bala de cerámica, 0.375	4	4
29443	Asiento	4	4
30383	Asiento de válvula	2	2
10299	Tuerca unión	4	4
25636-16	Manguera de succión, 250"	1	
28636-16	Manguera de presión, 250"		1
30912	Cabezal 0.5		1
10340	Tornillo, 10-24x3/4"	4	4
30916	Empaque de diafragma, 0.5	1	1
30375	Caja de valvula	1	1
10978	Válvula de pie	1	1
10123	Pichancha	1	1
30919	Valvula de Inyección	1	1
30923	Valvula de descarga	1	1
30924	Ensamble de válvula de succión	1	1
30921	Ensamble de válvula de pie	1	1
30922	Ensamble de cabezal	1	1
28663	Ferrula	4	4
32293	Tuberia de succión	1	1

Clorador Milton Roy LMI



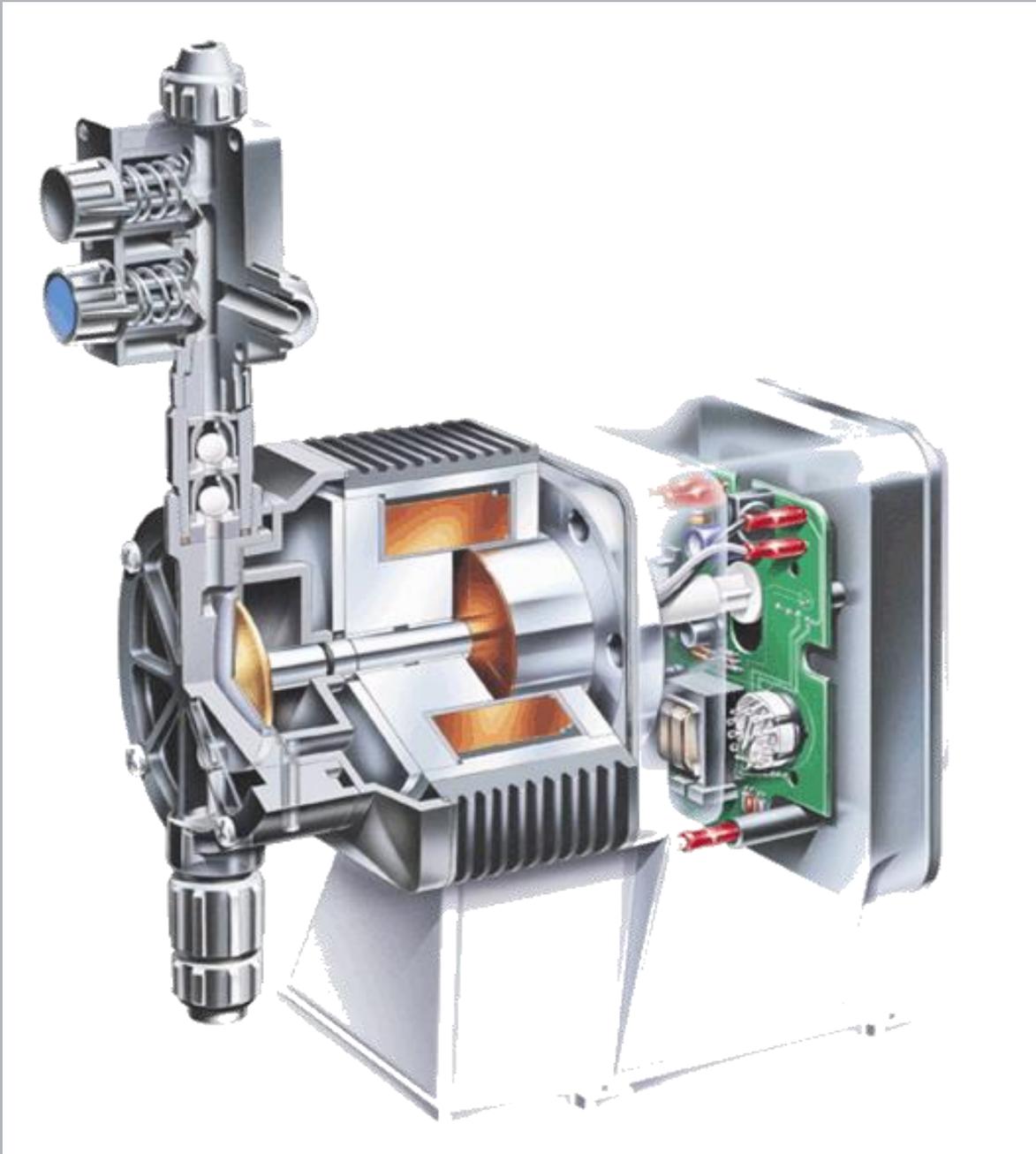
Manual de Ensamble Clorador Wallace and Tiernan



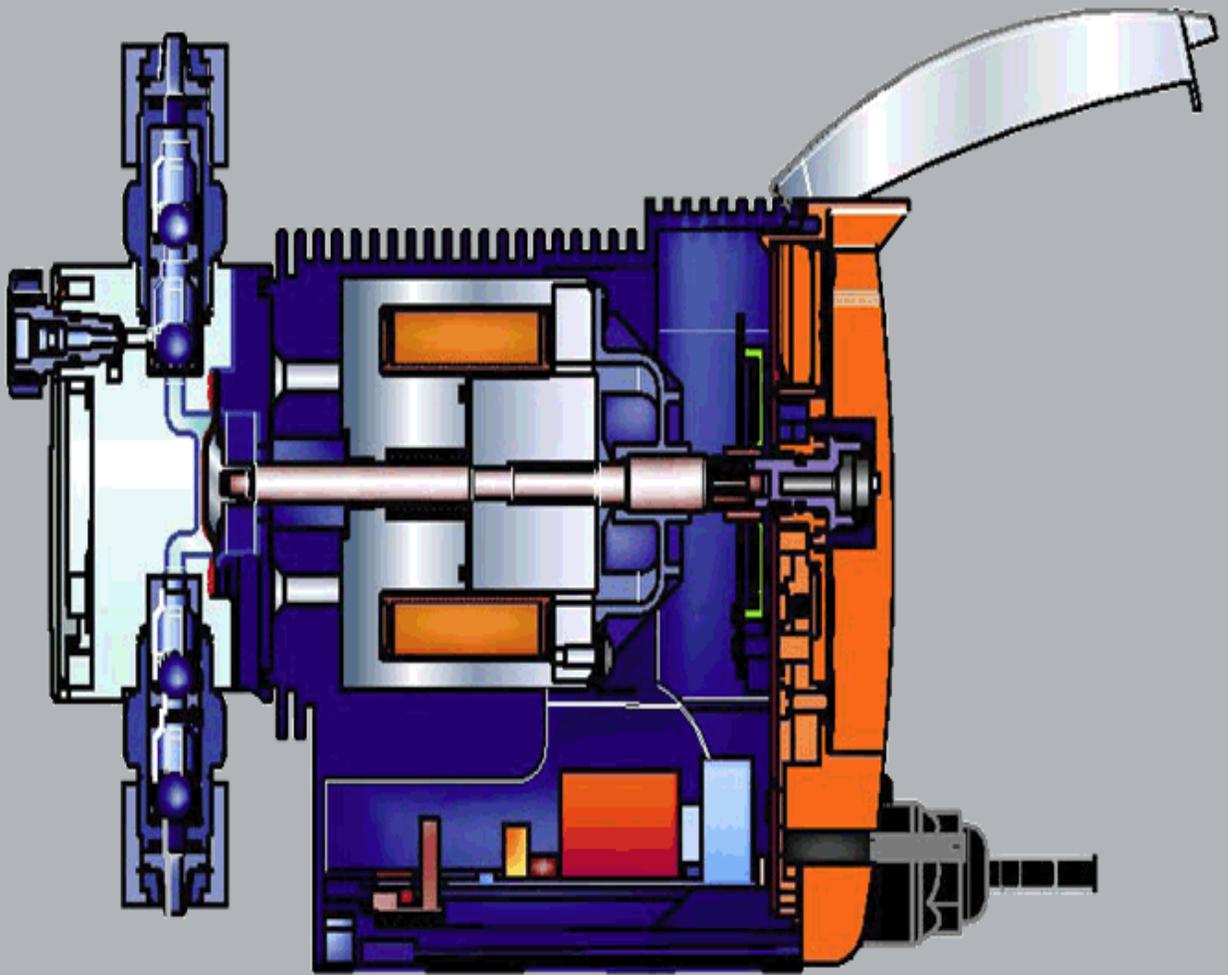
Refacciones Clorador Wallace and Tiernan

No.	Descripción	Cantidad
1	Cabezal de la Bomba	1
2	Diafragma	1
3	Plato Deflector	1
4	Adaptador	1
	Sello del Diafragma	0-2
6	Empaque	1
7	Tornillos	4
8	Rondanas	4
9	Cartucho de valvula de succión	1
10	Cartucho de valvula de descarga	1
11	Valvula de descarga	1
12	Valvula de pie/pichancha	1
13	Valvula de inyección	1
18	Empque	2
24	Tuerca Union	2
36	Empaque	1

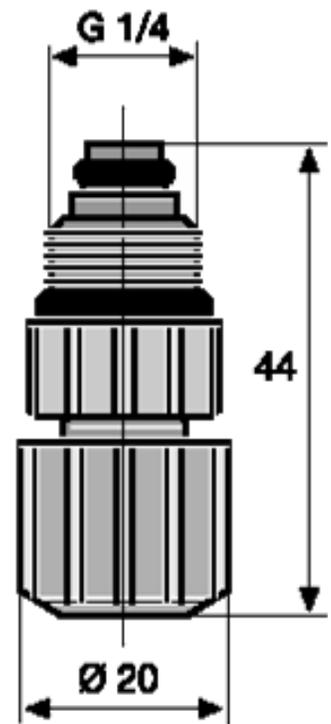
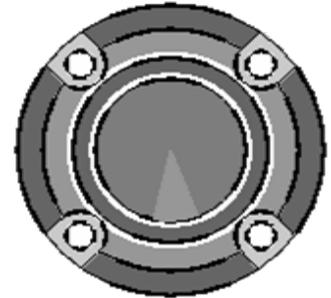
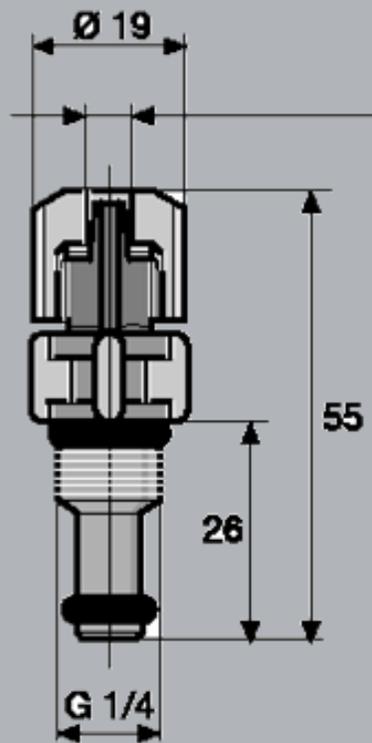
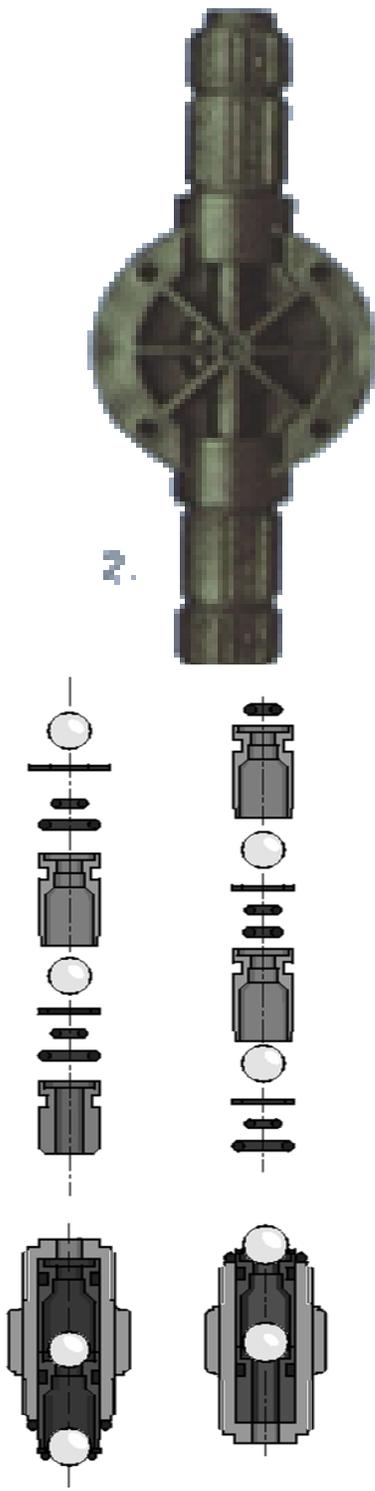
Clorador Wallace and Tiernan



Clorador PROMINET

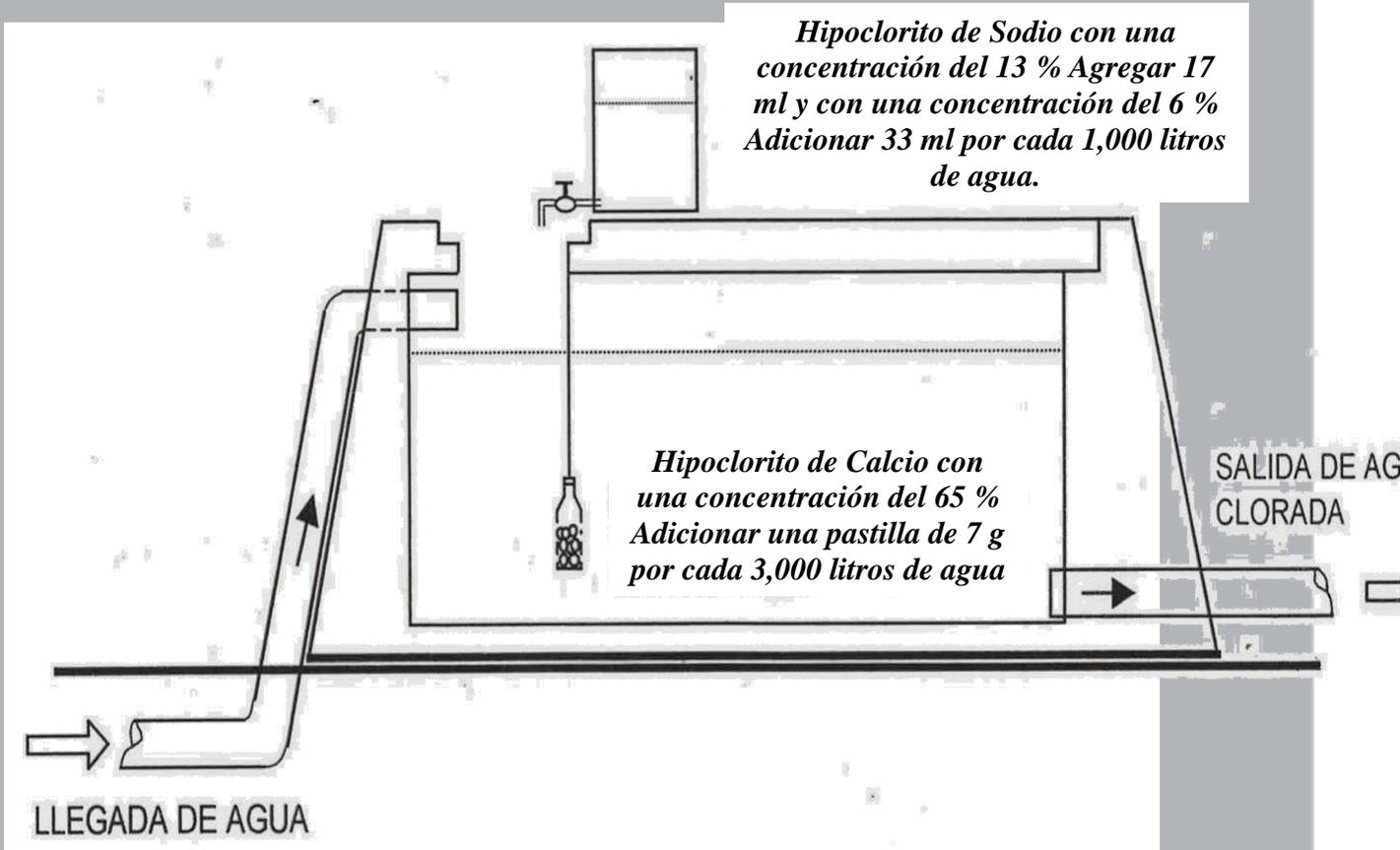


Piezas que se dañan más frecuentemente



DESINFECCIÓN EN COMUNIDADES QUE CARECEN DE EQUIPO CLORADOR

Técnicas Manuales de Cloración



OZONO

La Ozonación se considera la tecnología de mayor eficiencia para matar casi todo tipo de patógenos, excluyendo los huevos de helminto. Ozono proviene de la palabra griega ozein, que significa oler.

Su fórmula molecular es O₃ y es un gas inestable de color azul y olor picante característico, es uno de los oxidantes más fuertes que es usado como desinfectante, oxidante clásico y ayuda de coagulante.

En este capítulo se resumen los aspectos principales para su empleo como desinfectante.

Estado del arte:

El ozono en desinfección se usa al inicio (desinfección primaria) o al final (desinfección secundaria).

En el primer caso sirve para oxidar la materia orgánica precursora de la formación de subproductos orgánicos clorados que ocurre cuando hay una desinfección con cloro al final del tratamiento.

En México, el ozono se ha comenzado a aplicar como oxidante en plantas pequeñas de potabilización con problemas de alta contaminación orgánica y de color.

Actualmente, la tendencia mundial es aplicar el ozono con múltiples propósitos no sólo el de desinfección con la finalidad de optimar costos.

USOS:

El ozono puede ser usado para los propósitos que a continuación son descritos.

DESINFECCIÓN:

El ozono es considerado uno de los agentes microbicidas más rápido y eficaz, su acción posee un amplio espectro y elimina, bacterias, actúa como bactericida y bacteriostático en concentraciones tan bajas como 0.01 ppm, con periodos muy cortos de exposición.

Wuhrmann y Meryrath (1955) encontraron que a 12°C y con concentraciones de 0.6 mg/l de ozono se reduce 4 unidades log de E.

coli, Staphylococcus sp. y Pseudomonas fluorescens en menos de un minuto.

Los Streptococcus fecalis requieren el doble del tiempo y Mycobacterium tuberculosis, seis veces más con la misma concentración.

DESINFECCIÓN:

Virus. El ozono oxida las proteínas de la capa y modifica la estructura tridimensional interna, de forma tal, que el virus no puede anclarse a ninguna célula huésped, no se reproduce y muere.

La acción se observa en concentraciones inferiores a la bactericida pues la capa de los virus es menos compleja que la de la pared bacteriana.

Para la destrucción total de virus se requieren 30 segundos a concentración baja de ozono residual (0.05 mg/l).

Sin embargo, la OMS recomienda incluir un coeficiente de seguridad importante en la dosis.

Hongos. El ozono, provoca un daño celular irreversible.

Esporas. A concentraciones ligeramente superiores a las usadas para el resto de las bacterias, el ozono es capaz de destruir las esporas formadas por hongos y bacterias.

OXIDACIÓN:

Hierro y manganeso:

El hierro (Fe) y manganeso (Mn) son eliminados del agua por oxidación con ozono de acuerdo con:



Se requieren 0.43 mg O₃/mg de Fe²⁺ y 0.87 mg de O₃ por mg de Mn²⁺, siendo la reacción con el hierro mucho más rápida.

Además, el manganeso es más difícil de eliminar en presencia de materia orgánica, pues ésta se oxida primero.

OLOR Y SABOR:

El ozono destruye malos olores y sabores al atacar directamente la causa que los provoca, la cual suele ser la materia orgánica en suspensión y la acción de los distintos microorganismos sobre ella.

PRECURSORES DE TRIHALOMETANOS:

El ozono se aplica al inicio del tratamiento con el objeto de destruir los compuestos que dan lugar a la aparición de organoclorados durante la cloración final del agua.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS:

El ozono tiene una serie de características que lo hacen atractivo, como son:

- Ser un fuerte oxidante que reacciona rápidamente con la mayoría de los compuestos orgánicos y microorganismos (incluyendo esporas, quistes y algas) presentes en las aguas naturales y residuales.
 - No impartir sabor ni olor al agua
 - Poseer mayor poder desinfectante que el cloro y sus derivados
- Sus desventajas se refieren a:
- Los costos
 - El rendimiento del equipo generador de ozono
 - La calidad de los métodos de inyección del gas

GENERADORES DE OZONO:

El ozono puede ser producido por tres métodos:

- Fotoquímico
- Electrólisis del ácido sulfúrico
- Corona de descarga

Fotoquímica. Se basa en la ionización del aire o del oxígeno con luz ultravioleta, es muy económico y se aplica para tratar pequeñas cantidades de agua que no demanden mucho ozono con el fin de desinfectar y evitar malos olores, consume gran cantidad de energía y su eficiencia depende de la humedad del aire y la durabilidad de la lámpara, su desventaja más importante es la baja concentración de ozono que produce (0.5% en peso), pues éste se forma a una longitud de onda de 185 nm y se destruye a 254 nm; longitudes de onda que, desafortunadamente, coexisten en el sistema.

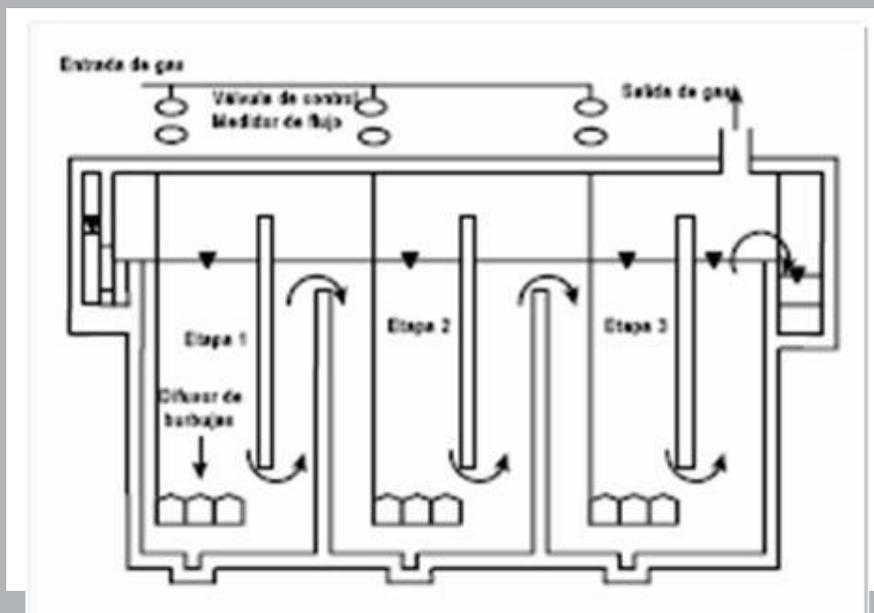


La empresa estadounidense "Ozono Elettronica Internazionale" ofrece equipos con capacidad de producción de 2.5 g O₃/h a 12 kg O₃/h. Se aplican para plantas potabilizadoras con módulos de 0.3 a 110L/s. El suministro eléctrico es de frecuencia media o alta.



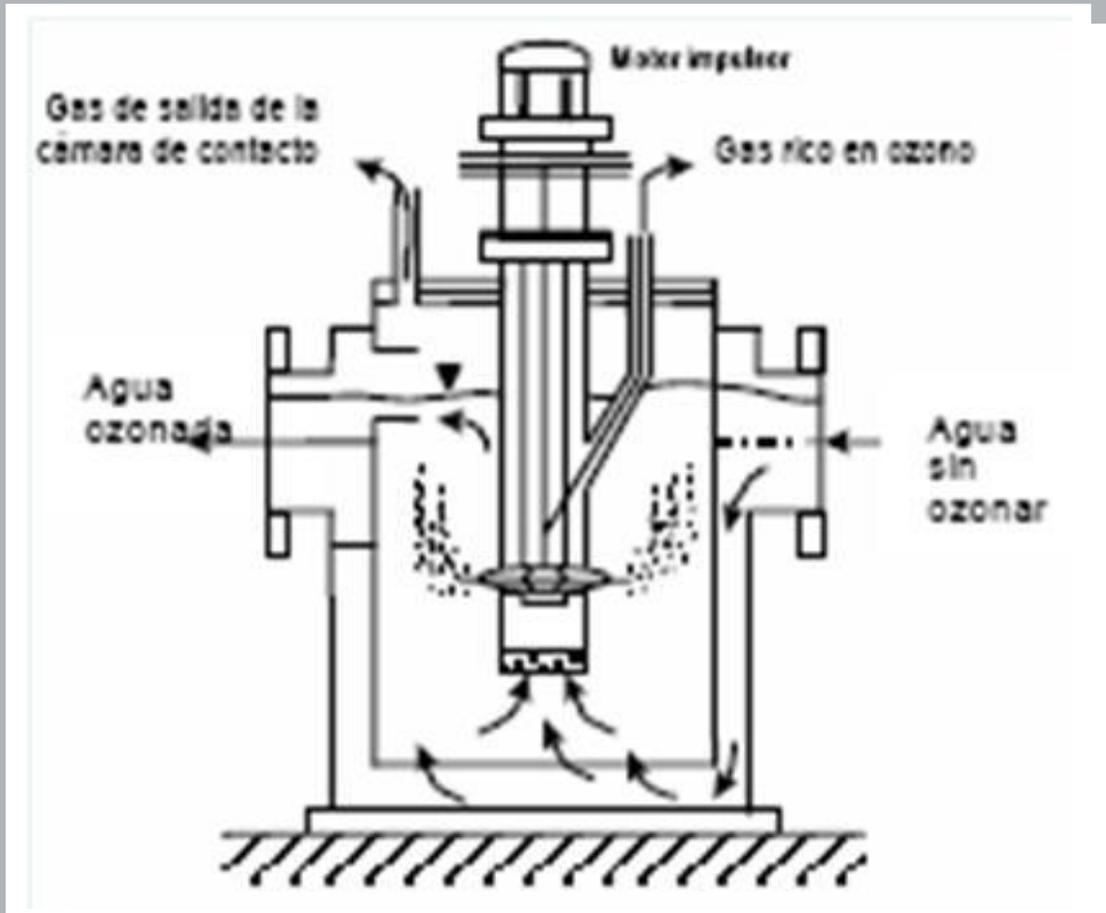
La empresa española "Tecozone Oxidines, sistemas y equipos de ozonación" tiene generadores de alta y media capacidad en sus series ZF y OZAT.

La serie ZF es de frecuencia media, posee avanzados sistemas eléctricos y electrónicos y es de construcción robusta.

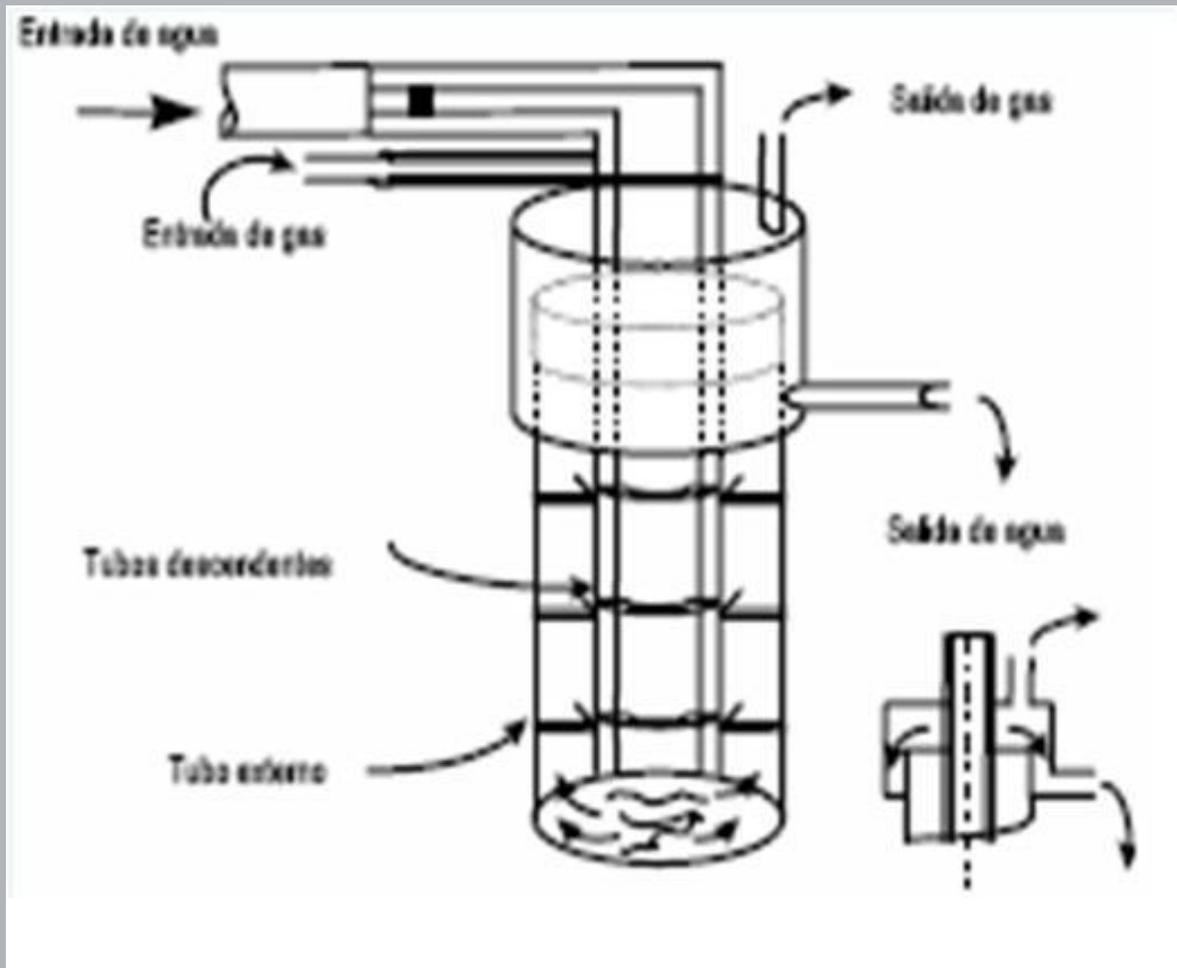


Cámara de contacto en tres etapas con difusor de burbujas.

Cámara de contacto tipo Ke



Cámara de contacto con lecho empacado usada en Sipplingen, Alemania



Cámara de contacto y difusión en tubo profundo "U"

CRITERIO DE DISEÑO:

Como primer paso, se debe establecer el objetivo principal del proceso el cual puede ser específico y único (como la desinfección) o múltiple (desinfección, oxidación y/o pretratamiento) para definir la viabilidad del proyecto.

Posteriormente, una vez demostrada la viabilidad del proyecto, es necesario realizar el prediseño para determinar el número y tipo de generadores de ozono lo que depende de la tasa de producción requerida, expresada en $\text{kg/h}\cdot\text{m}^3$.

Puesto que el sistema de generación más utilizado es por corona de descarga el cual es normalmente enfriado con agua, hay que considerar la temperatura y la cantidad de agua disponible.

LUZ ULTRA VIOLETA:

Si bien el cloro por su simplicidad de aplicación y bajo costo es la práctica más empleada, tiene la desventaja de generar productos secundarios denominados organoclorados que se consideran carcinógenos.

Como una alternativa existe la luz ultravioleta (UV), la cual sin generar subproductos es efectiva para inactivar organismos patógenos.

La radiación UV se ha usado comercialmente durante muchos años en industrias como la farmacéutica, de cosméticos, de bebidas y electrónica, fue utilizada en agua de suministro a principios de 1900 pero se abandonó por sus altos costos de operación, los problemas de mantenimiento y la falta de disponibilidad de equipo, pero, la razón más importante fue que la cloración resultó ser más eficiente y rentable (Rajeshwar y Ibañez, 1997).

Paradójicamente, hoy en día la desinfección con luz UV es un proceso que está ganando terreno con respecto a la cloración debido a la estricta reglamentación de los organoclorados que esta última ha generado.

En los últimos 20 años, el uso de la luz UV se ha incrementado incluso en plantas de tratamiento de aguas residuales (Droste, 1997).

Comparada con la cloración, la luz UV desinfecta el agua residual sin la necesidad de almacenar o manejar reactivos químicos peligrosos y, por sus cortos tiempos de contacto (del orden de segundos o minutos), reduce el tamaño de los tanques de tratamiento y con ello el costo (Rajeshwar y Ibañez, 1997).

Actualmente, se han construido o planeado gran número de sistemas de desinfección con luz UV y por lo mencionado han resultado ser económicos y competitivos con respecto a la cloración.

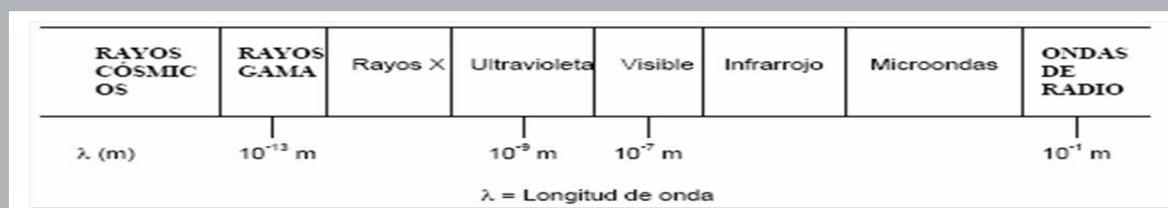
Además, la luz ultravioleta tiene un campo de aplicación muy interesante al adaptarse por su simplicidad de operación a comunidades rurales y aisladas.

CARACTERÍSTICAS:

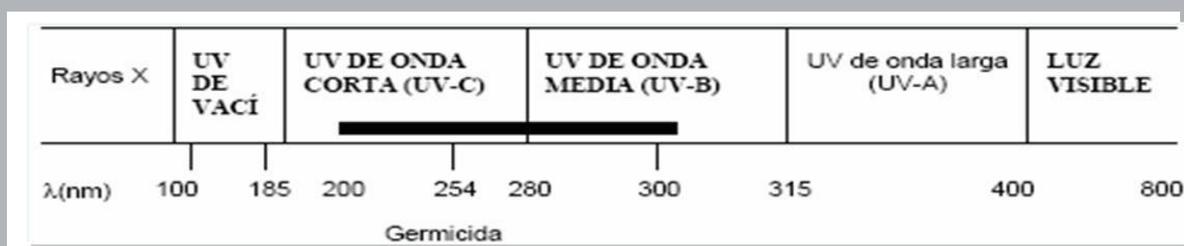
La luz ultravioleta es una radiación electromagnética que está presente en el espectro natural de la radiación solar.

Tiene una longitud de onda menor a la de la luz visible (400 nm) y mayor a la de los rayos X (100 nm).

Mientras menor es la longitud de onda mayor es la energía contenida, por lo que, la radiación ultravioleta tiene una energía inferior a la de los rayos X pero mayor que la de la luz visible.



La región de UV se divide en cuatro subregiones: UV de vacío, UV-C, UV-B y UV-A



Espectro electromagnético con escala expandida de la radiación Ultravioleta La radiación de región UV-A (315-400 nm) es usada para las lámparas de bronceado. La UV-B (280-315 nm) y la UV-C (200-280 nm) son las que contienen las longitudes de onda más efectivas para la acción germicida siendo la longitud óptima la de 254 nm (Trojan Engineering, 1994).

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS:

Efecto en los microorganismos y modo de acción

Los cambios fotoquímicos inducidos por la radiación ultravioleta en el material nuclear de un organismo (especialmente, en el ADN⁸ y el ARN⁹) y por los cuales ocurre la desinfección han sido ampliamente estudiados.

El ADN está constituido por nucleótidos compuestos a su vez por una molécula de azúcar, otra de fosfato y una base nitrogenada.

Las bases nitrogenadas pueden ser púricas o pirimídicas. Los nucleótidos con base pirimídicas son la citosina (encontrada en el ADN y ARN), la timina (encontrada solamente en el ADN) y el uracilo (encontrado sólo en el ARN).

La radiación de luz ultravioleta penetra la pared celular de los organismos y es absorbida por el ADN y el ARN dimerizando dos bases (las une entre sí con un doble enlace), lo cual impide la reproducción o produce la muerte de la célula (Metcalf y Eddy, 1996).

La dimerización de dos timinas es la más eficiente para inactivar los microorganismos.

La radiación de luz ultravioleta penetra la pared celular de los organismos y es absorbida por el ADN y el ARN dimerizando dos bases (las une entre sí con un doble enlace), lo cual impide la reproducción o produce la muerte de la célula (Metcalf y Eddy, 1996).

La dimerización de dos timinas es la más eficiente para inactivar los microorganismos.

Reactivación:

La mayoría de los microorganismos poseen la capacidad de reparar los daños causados por condiciones ambientales hostiles a su ADN, tal es el caso de la exposición a los desinfectantes.

Existe un número limitado de enzimas que pueden realizar estos procesos, por lo que el daño al gen que codifica a las enzimas de reparación o a cualquier sitio de regulación requerido en la síntesis de proteínas, limita el proceso de reparación.

Los virus no tienen este sistema de reparación (Cairns, 1993).

Así, bajo ciertas condiciones, el daño fotoquímico causado por la luz UV puede ser reparado, permitiendo que vuelvan a ser viables después del proceso de desinfección.

Existen dos mecanismos de reparación:

- La foto reactivación
- La reparación en la oscuridad

El proceso más sencillo es la foto reactivación, la cual se realiza en presencia de luz con longitudes de onda entre 310 y 480 nm (Shaban et al., 1997).

Este proceso, en consecuencia, no ocurre en líneas de distribución cerradas o en receptores profundos de agua (Cairns, 1993).

Al aumentar la dosis inactivadora, el microorganismo expuesto acumula mayor número de dímeros de pirimidina y la reparación del daño depende de la disponibilidad de radiación fotoreactivante (WEF, 1996).

La importancia de la fotoreactivación depende de tres factores:

- La dosis inicial de radiación UV para la inactivación
- La dosis de la radiación fotoreactivante
- Cada tipo de microorganismo

Efectos de las partículas:

El papel de las partículas suspendidas es muy importante. Carnimeo et al. (1994) demostraron que la efectividad disminuye al aumentar el contenido de sólidos suspendidos, debido que:

- La materia coloidal puede absorber la luz
- La materia coloidal puede reflejar la luz

Se evita de esta manera que la luz penetre totalmente los microorganismos.

Es importante por tanto conocer factores como el número de las partículas, la distribución de su tamaño y la composición de las mismas para evaluar la aplicación de la luz ultravioleta.

Dosis del desinfectante:

En toda desinfección, el grado del efecto germicida depende de la dosis del agente desinfectante.

En este caso, la dosis de la luz UV se define como el producto de la intensidad de la luz por el tiempo de exposición.

$$D = I \times t$$

Dónde:

D: dosis de luz UV, mW s/cm²

I: intensidad promedio de la energía UV, mW/cm²

t: tiempo de exposición

Principios del funcionamiento:

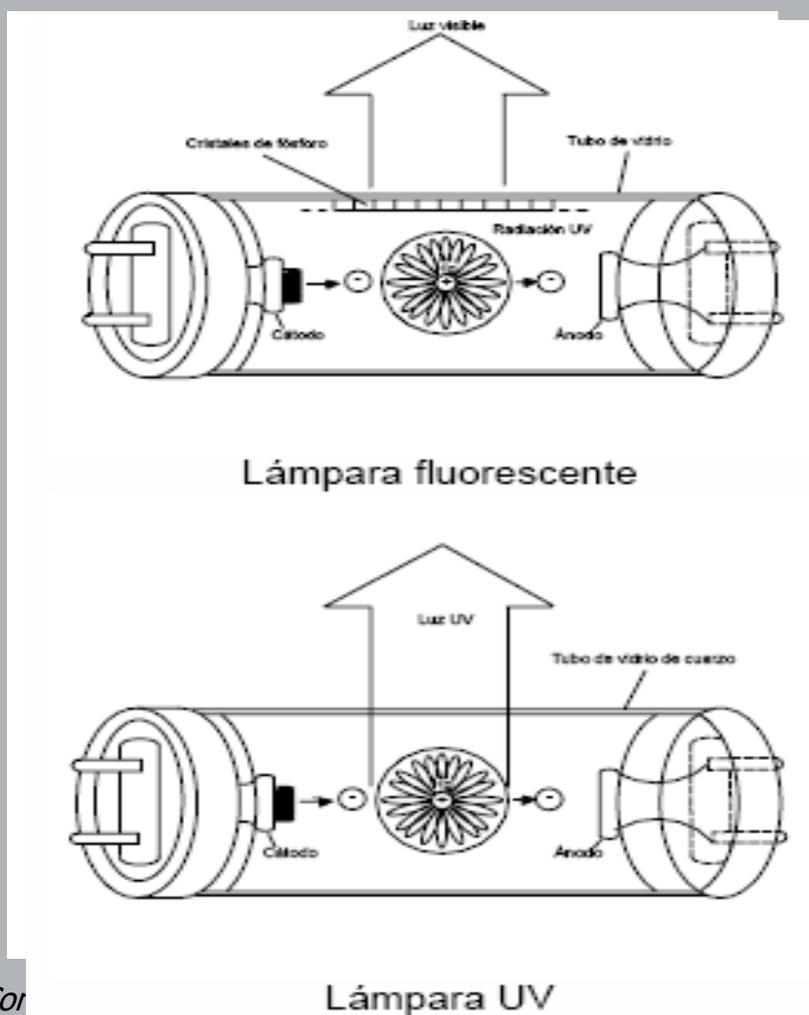
Todas las lámparas germicidas se basan en el mismo principio de funcionamiento:

La radiación ultravioleta es generada por el paso de una descarga eléctrica a través de vapor de mercurio ionizado mezclado con un gas noble.

Debido a que los gases a presión atmosférica no son buenos conductores de la electricidad se requiere un aparato especial llamado tubo de gas de descarga o lámpara germicida para presurizar, este tubo es de vidrio y tiene dos electrodos sellados a sus paredes. Generalmente, éste se instala dentro de una camisa de cuarzo para protegerlo de los efectos del agua (Fahey, 1990).

Una lámpara fluorescente, de las que comúnmente se emplean para la iluminación opera con el mismo principio y de hecho, también produce energía UV.

La diferencia radica en que estas están cubiertas con un compuesto de fósforo que transforma la luz UV en luz visible (Figura 5.5) (Cheremisinoff y Cheremisinoff, 1993).



Principios del funcionamiento:

Cuando la lámpara de desinfección está fría, el mercurio se encuentra en su estado natural (líquido).

Al encender la lámpara la presión del argón disminuye, se produce muy poca luz pero que calienta y evapora gradualmente al mercurio, conforme éste se evapora, la presión aumenta y la luz UV empieza a producirse (Goldwasser y Klipstein, 1998). Durante este proceso, pueden pasar dos cosas:

Que la alta densidad de las moléculas gasificadas de mercurio dificulte la salida de luz UV con longitud de onda de 254 nm de la lámpara, pues al ser emitido un fotón 10 de UV por un átomo de mercurio, otro cercano lo absorba.

Que las frecuentes colisiones entre los átomos excitados de mercurio conduzcan a la emisión de luz con gran variedad de longitudes de onda, incluyendo luz visible.

Con el incremento de la presión, el número de líneas en el espectro del mercurio se incrementa y tiene un espectro más continuo.

Clasificación de la lámpara de mercurio:

Debido a que la presión dentro de una lámpara afecta la distribución espectral, es posible producir lámparas que emitan prácticamente toda su energía en una longitud de onda deseada.

Tipo	Presión	Fabricante	Debajo de 254nm	254 nm	254-300 nm	300-334 nm	365 nm	Luz visible
T/M5/369	Baja	2	---	185	0.55	1.26	1.0	4.46
UA27A2 350V; 4 A	Baja	3	0.122	0.316	0.75	1.06	1.00	2.39
A.C. 150 W	Baja	5	0.123	0.313	0.79	1.10	1.00	2.35
H-5 250 W	0.4 atm	6	---	---	---	---	1.00	4.41
UA27A2 220V;3.75 A	1.04 atm	4	0.475	0.332	0.91	1.08	1.00	2.44
A.C. 250 V 3.5 A	Alta	2	0.111	0.281	0.63	1.09	1.00	2.56
D.C. 230 V 3.5 A	Alta	2	0.094	0.348	0.83	1.04	1.00	2.48
AC Uviarc 600W; 183 V 3.92 A	---	3	0.338	0.348	0.92	1.07	1.00	2.61
UV 1 Lámpara de sol	---	1	---	---	0.24	0.99	1.00	

Las lámparas de mercurio se clasifican con base en la presión del gas a la que trabajan, siendo las de baja presión las que emiten más radiación en la región ultravioleta, principalmente a 254 nm.

Actualmente, se da un énfasis especial al desarrollo de fuentes alternas de luz ultravioleta, sobre todo de aquellas con mayor intensidad, como son las lámparas de baja presión con alta intensidad y las de presión media.

Estas mejoras se reflejan en una reducción del número de lámparas empleadas.

Tipo de lámpara	Presión de trabajo (kg/cm ²)
Presión baja	9.5 x 10 ⁻⁶
Presión media	0.13-13.4

Fuente: WEF, 1996

Clasificación de las lámparas de mercurio

Lámpara de baja presión:

Hoy en día, el principal método de generación empleado en la desinfección de agua es el de la lámpara de mercurio de baja presión (9.5 x 10⁻⁶ kg/cm²).

En éstas la intensidad es de 0.18 W de luz UV por centímetro de longitud de arco, lo que produce una intensidad estándar (a 254 nm) de 13.8 y 26.7 W para las lámparas de 0.9 y 1.6 m, respectivamente (WEF, 1996).

La vida de estas lámparas se estima en 7,500 horas, aunque los modelos recientes llegan a 13,000. Operan a temperaturas entre 40 y 60 oC y su eficiencia disminuye a bajas temperaturas (10-20oC) (Gehr, 1996).

Las ventajas de las lámparas de baja presión son:

- Emitir el 85 % de luz monocromática
- Con una longitud de onda de 254 nm (Metcalf y Eddy, 1996)
- Tener eficiencia germicida de cinco a diez veces mayor que las de alta presión (Cheremisinoff y Cheremisinoff, 1993).

Características Físicas:

Existen dos longitudes estándar de lámparas de baja presión: 0.9 m (con 0.7 m de longitud de arco) y 1.6 m (con 1.5 m de longitud de arco).

La introducción de balastros electrónicos para manejarlas es una gran mejora, pues anteriormente eran electromagnéticas, muy ineficientes,

susceptibles al sobrecalentamiento y no permitían un paso controlado de la energía.

Las electrónicas, en cambio, son sólidas, más ligeras, compactas, energéticamente eficientes y permiten controlar el paso de la energía (WEF, 1996).

Lámpara de baja presión y alta intensidad:

Este tipo de lámparas usa una corriente de descarga que permite operar a una presión del orden de 9.5×10^{-6} kg/cm² y a temperaturas de entre 180 y 200 oC, que es de cuatro a cinco veces más grande que la de las lámparas de baja presión.

La alta intensidad es producida por el empleo de corrientes de 5 amperes, que son 10 o 15 veces más grande que las de las lámparas de baja presión (WEF, 1996).

Lámpara de presión media:

Las lámparas de presión media emplean el mismo principio que las de baja presión.

La diferencia principal radica en que la emisión del vapor de mercurio se realiza a mayor presión y temperatura.

Operan entre 0.13 kg/cm² y 13.4 kg/cm², y de 600 a 800 oC. Debido a esto, y a diferencia de las lámparas de baja presión, la temperatura del agua residual no tiene impacto en la temperatura de operación (WEF, 1996).

Las diferencias físicas incluyen la presencia de un alambre de molibdeno que conecta los electrodos, conexiones externas, un recubrimiento y un reflector resistente al calor.

El recubrimiento se encuentra en el exterior y es usado para mantener la temperatura y evitar que el mercurio se condense, así, a diferencia de las lámparas de baja presión en las que se evapora sólo parte del mercurio, en las de presión media se evapora la totalidad.

La presión se mantiene constante por la cantidad de mercurio contenido en la lámpara (WEF, 1996).

La radiación ultravioleta de una lámpara de presión media es de 50 a 80 veces más grande que las de baja presión (de 9 a 14.4 W por centímetro de longitud de arco).

Sin embargo, es una radiación policromática que varía desde el valor más bajo de acción germicida (200 nm) hasta el de la luz visible (aproximadamente 700 nm).

Así, de la energía aplicada, el 30 a 40% es convertida en radiación (como ocurre en las lámparas de baja presión), pero solamente el 25% de ella es de acción germicida.

El efecto resultante es que de la energía de entrada sólo se transforma a radiación desinfectante del 5 a 7% en comparación con un 30 a 35% que ocurre en las lámparas de baja presión (WEF, 1996)

Factores que afectan la intensidad de las lámparas:

La intensidad de la emisión de una lámpara de mercurio es función del tiempo.

En general, las lámparas empiezan con una radiación muy alta que disminuye en forma muy lenta durante las primeras 1,000 a 2,000 horas de operación, sigue entonces un declive gradualmente mayor hasta el punto de falla.

La vida de operación para una lámpara de mercurio varía de 5,000 a 8,000 horas; sin embargo, algunas son operadas hasta por más tiempo (10,000 horas).

Calidad del Agua:

La vida de las lámparas también depende de la calidad de los efluentes y es más corta cuando existen altas concentraciones de iones (hierro, calcio y magnesio) o sólidos orgánicos.

Temperatura:

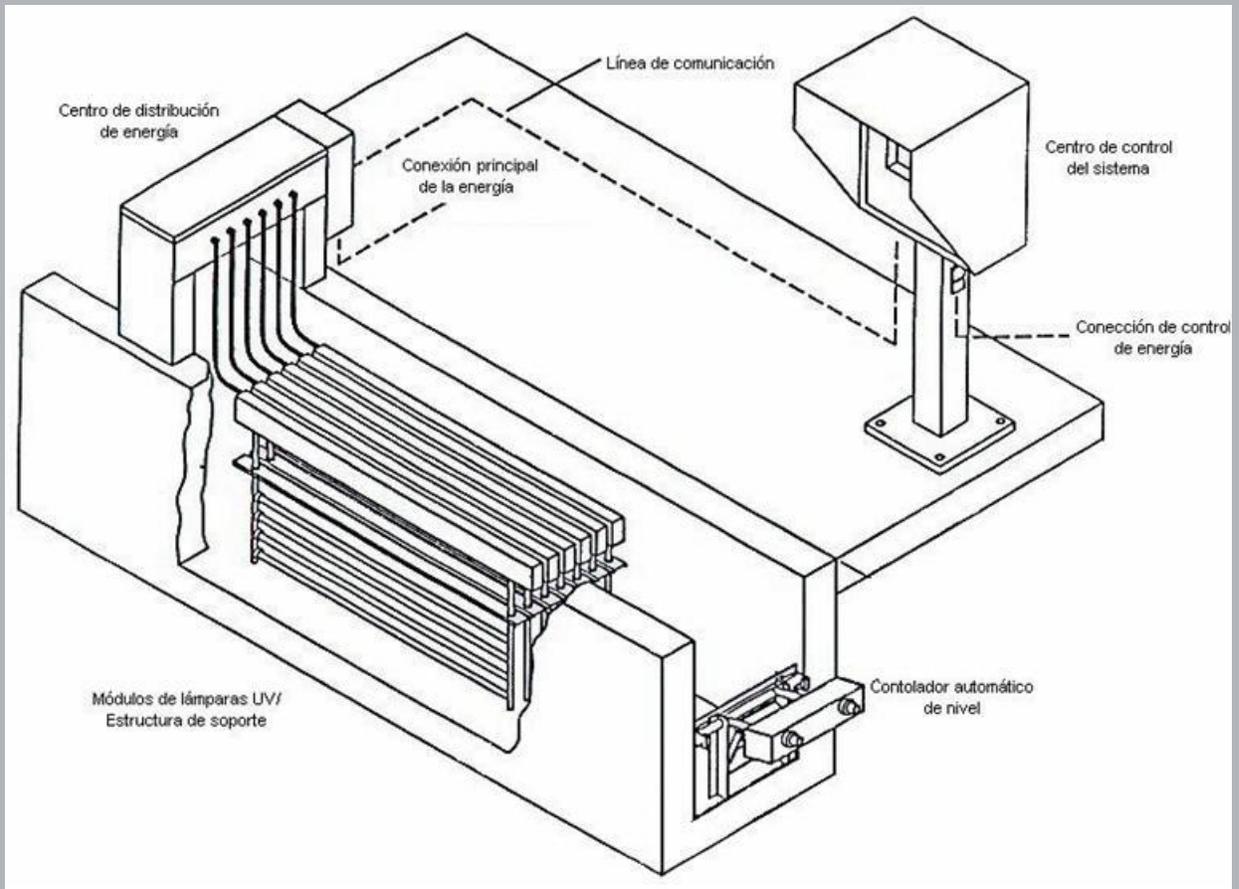
La eficiencia de las lámparas depende de la temperatura. La máxima emisión se presenta cuando es de 40 oC en la superficie.

Fluctuaciones en la temperatura causan una disminución de hasta el 40%.

Es por esto, que se recomienda usar una camisa de cuarzo como aislante, la cual además protege las lámparas de roturas.

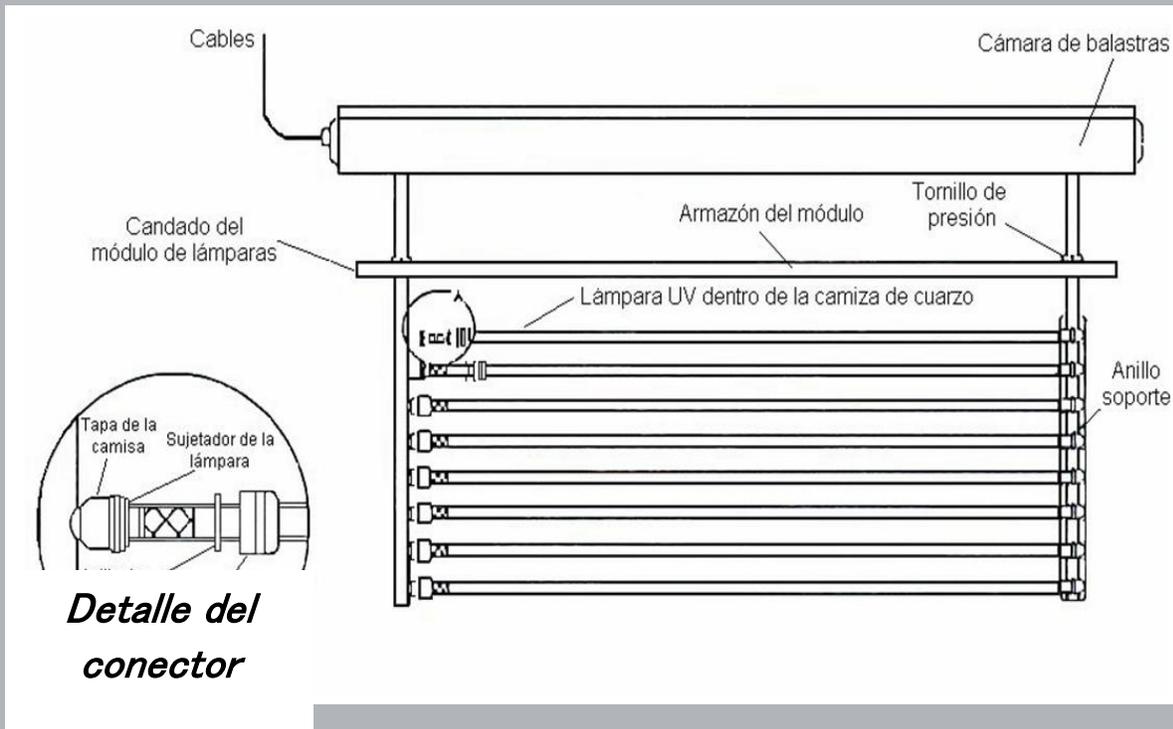
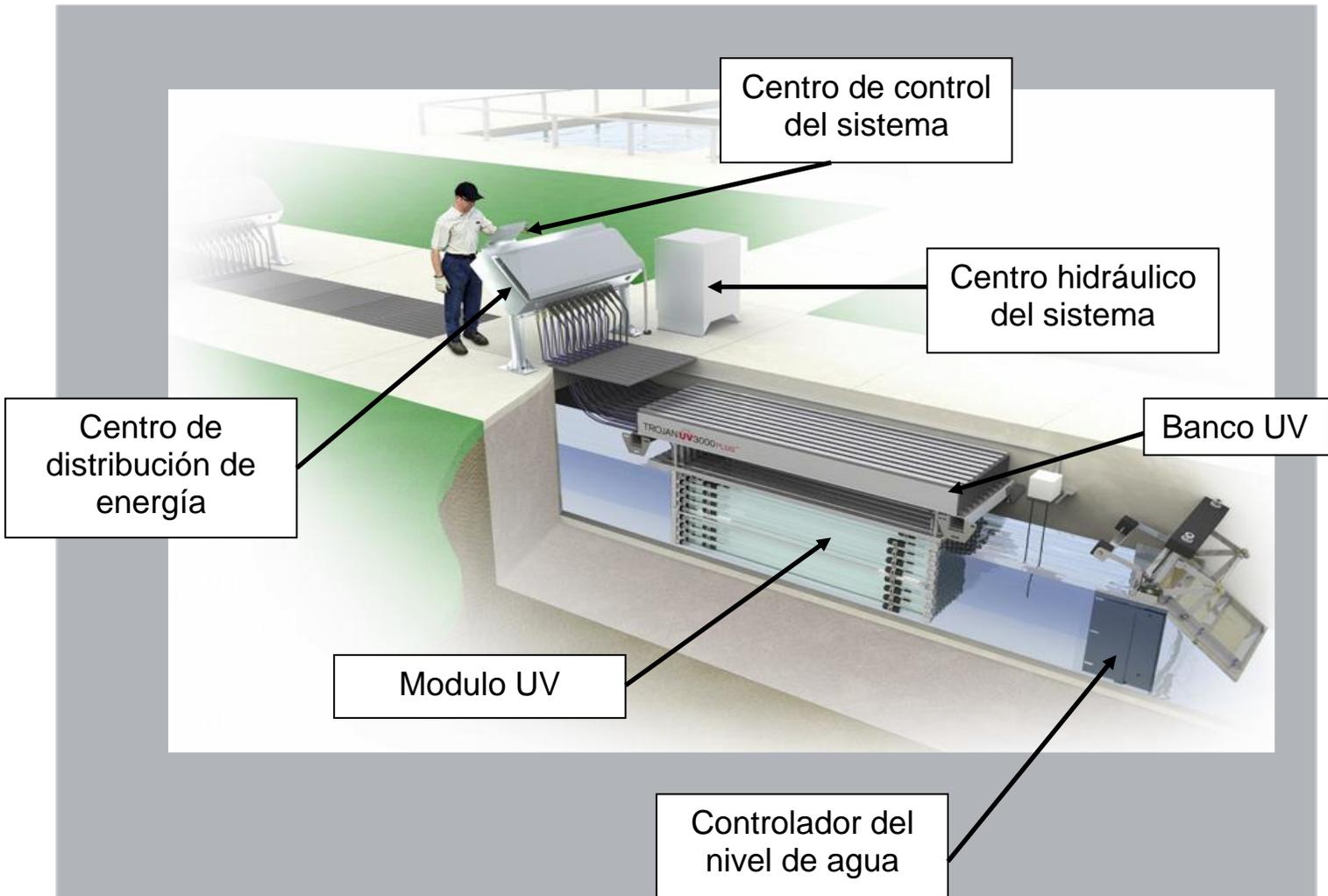
El control de la variación de temperatura se logra por el espesor de la camisa (espacio entre la pared de cuarzo y la de la lámpara), la temperatura del líquido y la energía con que se opera.

Cuando la temperatura del líquido oscila entre 15 y 25 oC, la lámpara se encuentra cerca de las condiciones óptimas (85% de la radiación máxima) pero la intensidad disminuye significativamente por arriba o debajo de este intervalo.



Esquema de un sistema horizontal de desinfección UV

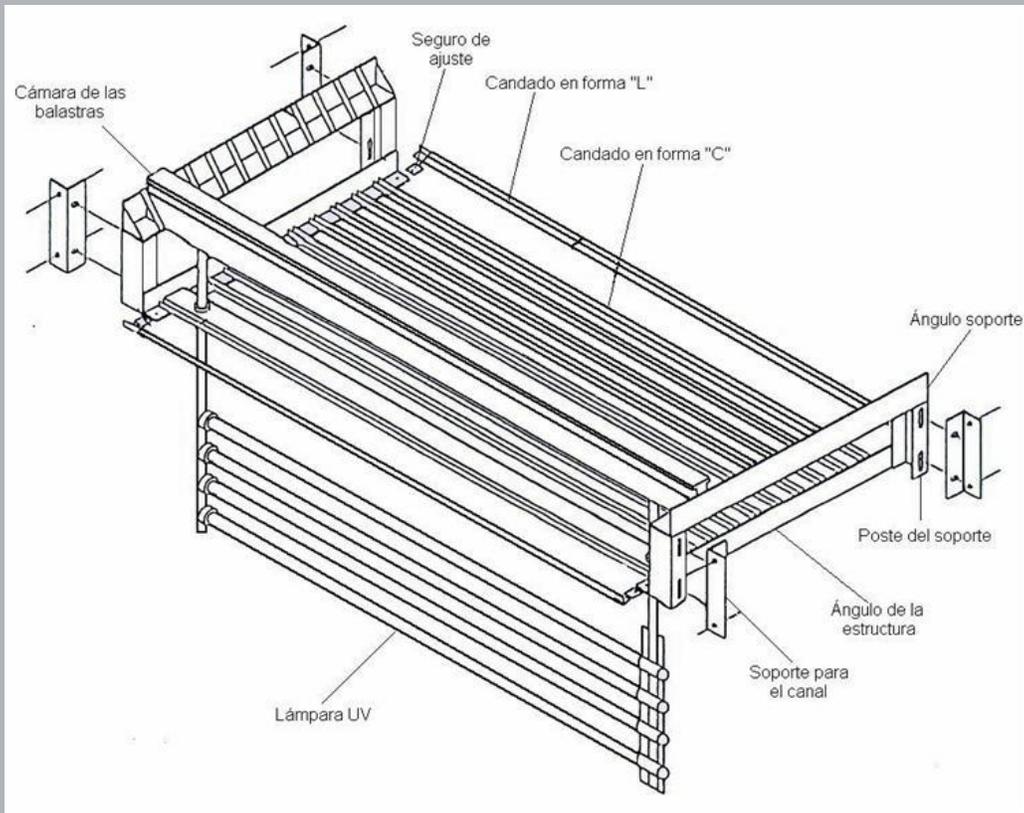
GRAFICO



Módulo de lámparas UV

GRAFICO

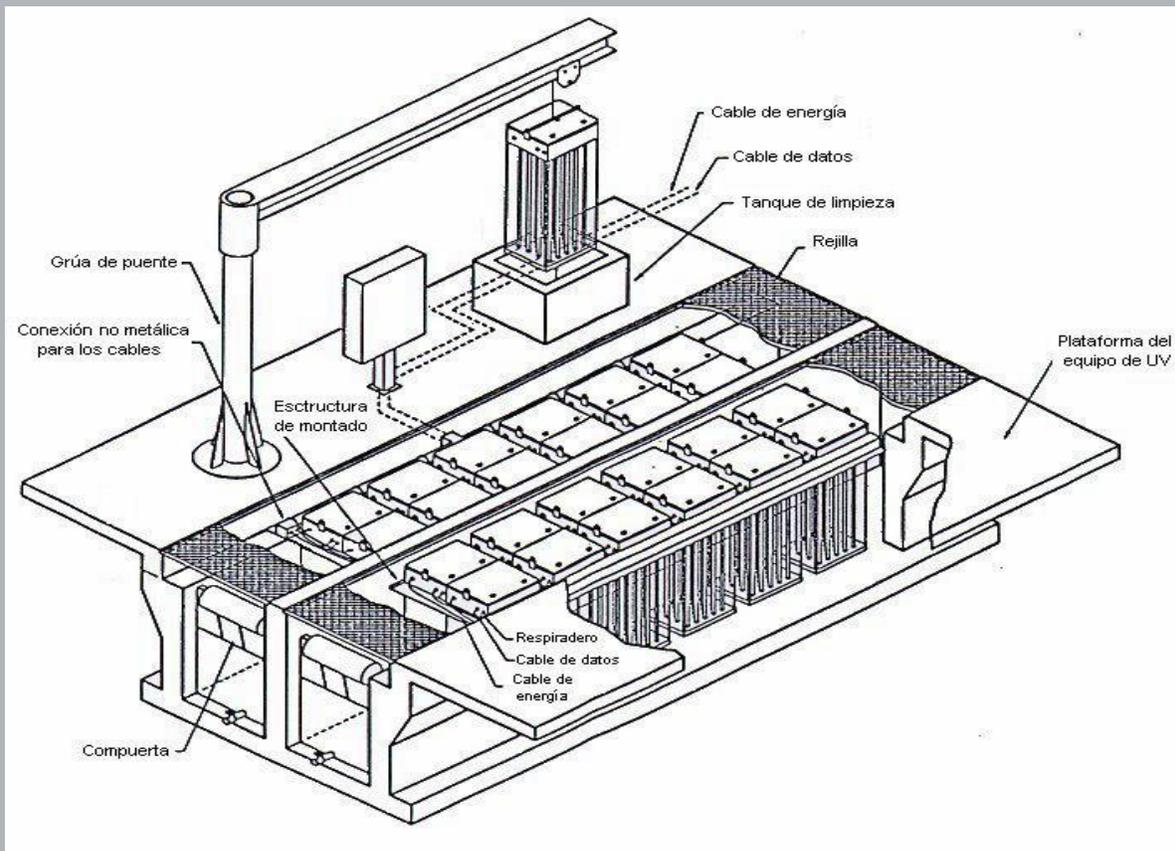
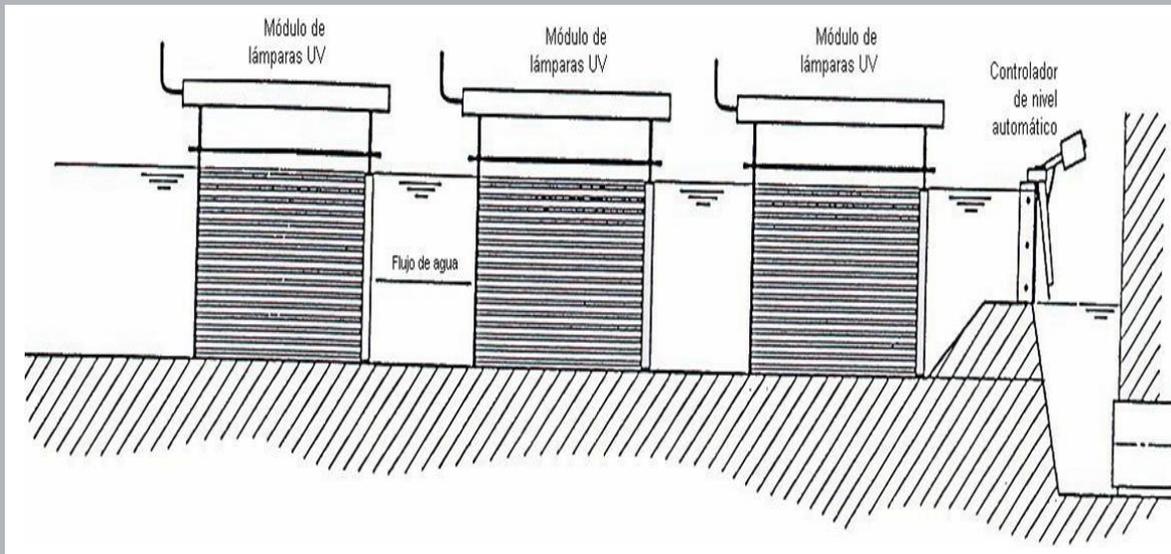




Estructura de un banco de lámparas de UV

GRAFICO





Esquema de un sistema vertical

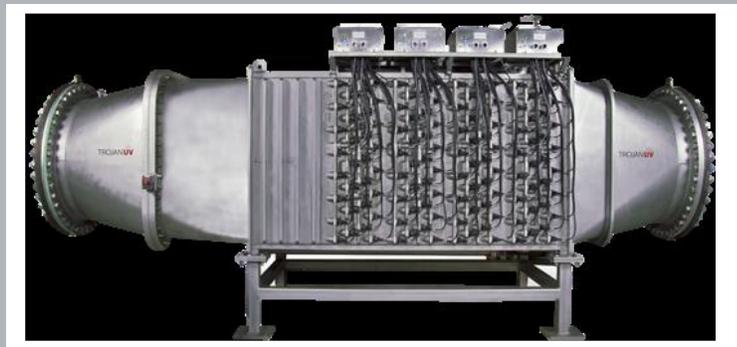
LUZ ULTRAVIOLETA:

Los equipos de Ultraviolet Technology of Australasia (UVTA) son diseñados para tratar flujos de agua en potabilización desde 0.03 hasta 350 L/s.

Los sistemas con que cuentan para agua potable son de presión baja, media y alta.

Los tres pueden desinfectar flujos hasta de 50 L/s basándose en una calidad del agua con menos de 2 UTN de turbiedad y 0.5 mg/l de hierro y más de 82 % de transmitancia.

Equipo de desinfección para agua potable



Operación y mantenimiento:

El personal requerido, así como la capacitación para la operación y mantenimiento de un sistema de desinfección por luz ultravioleta es mucho menor al requerido para cloración.

La sencillez de operación y mantenimiento, deriva en una disminución de las horas de trabajo invertidas en estas actividades.

Una planta que cuenta con desinfección UV requiere de 7.5 días del tiempo del personal por mes comparando con 12.5 días que se requiere para una planta con cloración (Fahey, 1990).

Lámpara con incrustaciones



Lámpara limpia



Selección del equipo:

La selección o diseño de un equipo de luz ultravioleta se hace con base en datos obtenidos en pruebas de tratabilidad.

Estas pruebas se realizan con el objeto de determinar la eficiencia de desinfección tomando en cuenta la caracterización cualitativa y cuantitativa del agua a tratar.

Dicha caracterización se realiza principalmente con los parámetros:

Parámetro	Unidad
Flujo	L/s
Sólidos suspendidos	mg/l
Transmitancia filtrada a 254 nm	%
Transmitancia no filtrada a 254 nm	%
Turbiedad	UTN
Concentración de coliformes en influente y efluente de la unidad UV	UFC/100 ml
Distribución y tamaño de partícula	μm

Fuente: Loge *et al.*, 1996a

De lo anterior se desprende que los **ORGANISMOS OPERADORES DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE** tienen la obligación sanitaria, legal y moral de garantizar la calidad del agua que suministran o que descargan, debiendo poner especial atención al aspecto microbiológico.

SIGNIFICADO DE LOS PARÁMETROS OBTENIDOS EN LA MODIFICACIÓN A LA N.O.M–127–S.S.A1-1994:

En la práctica, es muy importante que quien opera un sistema entienda y conozca el significado de los parámetros que contiene la norma de agua potable.

Este capítulo tiene esa finalidad y sigue la presentación de los parámetros que la norma considera.

CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS:

Coliformes Totales

Son ampliamente utilizados a nivel mundial como indicadores de potabilidad por ser fáciles de detectar y cuantificar.

El término abarca bacterias de tipo bacilos 2, Gram negativas que crecen en presencia de sales biliares o de otros compuestos con propiedades similares de inhibición y que fermentan lactosa a 35 ó 37°C produciendo ácido, gas y aldehído en un plazo de entre 24 y 48 horas.

Esta definición aplica aún cuando en la práctica ha sido modificada parcialmente por el empleo de técnicas más modernas de detección. La prueba detecta tanto especies de agua contaminada como otras abundantes en la naturaleza que se multiplican fácilmente en:

CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS:

Coliformes Totales

agua de buena calidad, por lo que en realidad no sirve como indicador definitivo de un agua inapropiada para consumo ni de patógenos.

Así mismo, sirven para establecer si un agua ha sido adecuadamente potabilizada si arroja resultados negativos a la salida de una planta, de la misma forma que los coliformes fecales lo pueden hacer.

Sin embargo, si se requiere saber si hay o no contaminación fecal se debe hacer la prueba específica.

Los coliformes totales son eliminados del agua mediante procesos de desinfección como la cloración, radiación UV y ozonización.

El valor guía de la OMS y el de la NOM-127 es en ambos casos de ausente en 100 ml.

CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS:

Coliformes Fecales

Son todos los bacilos cortos que difieren del grupo coliforme total por su capacidad para crecer a una temperatura de entre 44 y 45 °C. Abarca los géneros *Escherichia* y parte de algunas especies de *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*, de ellos, sólo *E. Coli* es específicamente de origen fecal y se encuentra siempre presente en las heces de humanos, otros mamíferos y gran número de aves.

Por ello desde el punto de vista de la salud, el grupo coliforme fecal es mucho más útil que el total, pues se relaciona con la probabilidad de encontrar patógenos excretados.

Las ventajas de este grupo como indicador son:

- El 95 % dan una respuesta positiva a la prueba de temperatura.
- Pueden estar ausentes, si la contaminación no es de origen fecal.
- Sobreviven menos tiempo en la naturaleza que los totales por lo que permiten suponer contaminación reciente si se encuentran en altas concentraciones.
- Son más exigentes que los coliformes totales para reproducirse en el ambiente extra intestinal.
- Los procedimientos de laboratorio para su cuantificación son relativamente sencillos. Sin embargo, algunas cepas dan respuesta negativa a la prueba de temperatura en el laboratorio.
- Tienen la capacidad de reproducirse en aguas ricas en nutrientes, en sedimentos y aún en aguas poco contaminadas; algunas cepas de *Escherichia coli* sobreviven menos tiempo que *Salmonella* en aguas a bajas temperaturas y otras son patógenas al hombre.

LIMITACIONES DE LOS INDICADORES DE CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA SELECCIONADOS EN LA MODIFICACIÓN A LA NOM-127-SSA1

Debe quedar claro que no existe un indicador ideal de contaminación microbiológica pues no hay dos microorganismos que se comporten de igual manera y día a día se determinan nuevos grupos de patógenos que no son simulados por los dos grupos de bacterias que menciona la norma.

La ausencia de coliformes fecales y totales, en particular, no es indicadora de la ausencia de virus algunos protozoarios y helmintos, debido a que éstos pertenecen a otro grupo de microorganismos que responden de manera diferente a la desinfección.

En cuanto a virus, hay más de 120 tipos capaces de infectar al hombre y de ser eliminados en las heces.

Un gramo de heces humanas puede contener hasta 109 diferentes partículas infecciosas virales, independientemente de que el individuo presente alguna manifestación clínica de la enfermedad.

Los virus no se multiplican en el medio ambiente, no obstante, pueden sobrevivir por varias semanas, especialmente si las temperaturas son bajas (< de 15 °C).

Los grupos patógenos de importancia como contaminantes de agua incluyen: adenovirus, enterovirus (poliovirus y virus de la hepatitis A), reovirus y virus causantes de diarrea, especialmente rotavirus y virus tipo Norwalk, otro grupo, difícilmente simulado por las dos bacterias mencionadas es el de los protozoarios que incluye varias especies de importancia médica.

Por ejemplo, *Entamoeba histolytica* (causante de amibiasis y abscesos hepáticos), *Naegleria fawleri* (4 661 casos de meningoencefalitis), *Giardia lamblia* (responsable de las giardiasis).

En 1998 se reportaron en México 1,257,245.00 casos tan solo de amibiasis intestinal.

Finalmente, los helmintos o lombrices son animales pluricelulares heterótrofos, muchos de los cuales requieren uno o más intermediarios en su ciclo de vida.

Los coliformes fecales y los totales definitivamente no son indicadores de su presencia o ausencia, sin embargo, se considera que los helmintos no se encuentran en agua potable o en fuentes empleadas para el suministro ausentes de turbiedad.

Características Físicas y Organolépticas:

Las características físicas y organolépticas se refieren, en general, a mediciones indirectas de componentes químicos presentes en el agua que pueden o no ser tóxicos.

Dentro de este tipo de parámetros se encuentran aquellos relacionados con la calidad estética cuya importancia reside en que el agua debe agradar a los consumidores y no provocarles desconfianza ni perjuicios en sus instalaciones o bienes.

Color:

El color es importante, ya que da una indicación rápida de la calidad del agua. Además, junto con el olor y el sabor determina la aceptación por parte del consumidor.

Hay dos tipos de color: el verdadero, producido por sustancias disueltas y que es el parámetro considerado en la norma; y el aparente, provocado por el color verdadero más el efecto de los sólidos en suspensión.

En el agua de abastecimiento puede ser originado por la presencia de iones metálicos como el hierro y el manganeso, las sustancias húmicas

(materia orgánica proveniente de suelos turbosos) y el plancton o las algas.

Cuando el agua tiene 15 unidades de color verdadero (con un umbral de 3 para ciertas personas) no es aceptada por el público.

Además, el color afecta negativamente la eficiencia de la desinfección.

El valor guía de la OMS es de 15 unidades mientras que el de la norma mexicana es de 20 unidades, en la escala platino cobalto, para eliminar el color aparente se aplica la coagulación-floculación seguida por sedimentación, la cantidad de coagulante depende de la concentración inicial del color y del pH óptimo (generalmente ácido).

En el caso del color verdadero, se recurre a sistemas más complejos como la absorción en carbón activado, oxidación y filtración en zeolitas, según sea el origen del color.

Olor y Sabor:

A la percepción combinada de las sustancias detectadas por los sentidos del gusto y el olor, suele llamársele sabor. Los problemas de sabor con frecuencia son la causa principal de las quejas por parte del consumidor, los cambios en el sabor y olor normal del agua de abastecimiento público pueden derivarse de una variación en la calidad de la fuente o por la deficiencia en el proceso de potabilización.

El olor y el sabor son producidos tanto por compuestos inorgánicos como orgánicos volátiles y hábiles que se encuentran en el agua desde su origen, como resultado de procesos biológicos, por contaminación humana o por la interacción de compuestos durante la potabilización.

El olor y el sabor se deben a un amplio número de compuestos (más de 5 000) y su presencia no es un indicador directo de la existencia de sustancias dañinas.

En cuanto a los organismos que con mayor frecuencia causan problemas de sabor y olor están los actinomicetos, varios tipos de algas y algunos, protozoarios y hongos.

Las algas verde azules o cianofitas producen compuestos con olores y sabores como la geosmina, el metilisoborneol y el cardin-4-n-1-ol. De hecho, cualquier alga produce una gran variedad de compuestos orgánicos volátiles y no volátiles que incluyen alcoholes alifáticos, aldehídos, cetonas, ésteres, tioésteres y sulfuros.

Ocasionalmente, otras bacterias, hongos y nemathelminthos producen olor y sabor, entre ellos están las ferrobacterias, algunas especies de pseudomonas (olor a pantano) y microorganismos varios que transforman el azufre a partir de aminoácidos, metitiol y dimetilsulfuros.

Turbiedad:

La turbiedad incrementa el color aparente del agua y se debe a la presencia de materia suspendida orgánica e inorgánica como la arcilla, sedimentos, plancton y organismos microscópicos.

Lo que se mide como turbiedad es la pérdida de luz transmitida a través de la muestra por difracción de los rayos al chocar con las partículas y por ello depende no sólo de su concentración sino también de su tamaño y forma.

En general, las partículas que producen turbiedad varían entre 1nm a 1mm y provienen de la erosión de suelos y materiales.

La importancia sanitaria de la turbiedad radica en que por sus componentes arcillosos y orgánicos absorben otros compuestos como plaguicidas, metales y microorganismos que ellos sí pueden ser dañinos.

Particularmente, la turbiedad fomenta un mayor desarrollo de los microorganismos ya que sirve de superficie para que éstos se alimenten y reproduzcan.

Por lo regular, la turbiedad de las aguas subterráneas es muy baja (< 5 UTN) en tanto que la de los cuerpos superficiales es mucho mayor e incluso muy altas (hasta valores > 1000 UTN) y además variable, para remover la turbiedad se emplea la coagulación-floculación, seguida de sedimentación y filtración.

En caso de el agua contenga una turbiedad > 100 UTN se puede aplicar un paso previo de sedimentación.

Características Químicas:

De manera natural, el agua contiene sustancias inorgánicas, que comúnmente se utilizan para el consumo humano como es el caso del arsénico, selenio, cromo, cobre, molibdeno, níquel, zinc y sodio. Algunas de ellas son elementos esenciales en la nutrición de hombre. Otras forman parte de los ciclos naturales, como los nitratos y nitritos dentro del ciclo del nitrógeno.

Sin embargo, cuando se altera el equilibrio de estos elementos debido a su exceso o carencia, también se modifica la calidad del cuerpo de agua y puede limitar su uso.

En cada caso se mencionan procesos para la disminución de la concentración que deberán ser investigados más a fondo y probados antes de su aplicación.

Aluminio

A pesar de que el aluminio no existe naturalmente en forma elemental, es uno de los metales más abundantes en la superficie terrestre ($\approx 8\%$) y en el agua, está presente en suelos, plantas y tejidos animales. Es un elemento de uso muy común en la industria y en las casas, sirve como antiácido, analgésico, antitranspirante, aditivo de alimentos y en las vacunas, entra al organismo por los consumos de té, preservadores, colorantes, emulsificadores, polvo para hornear y productos de uso frecuente en la cocina. Los compuestos del Al son también comúnmente utilizados para la potabilización del agua.

Su metabolismo en el cuerpo humano es poco conocido, al parecer el Al inorgánico se absorbe mal y se excreta casi completamente en la orina.

Aunque su ingesta no parece ser dañina, sus compuestos han sido asociados con desórdenes neurológicos sin haber aún una confirmación certera de ello. Esto, junto con el hecho de que el Aluminio entra en contacto con el hombre por diversos medios y en grandes concentraciones, hicieron que la OMS estableciera un valor guía sólo para controlar los efectos sobre el sistema de distribución.

De hecho, este valor (de 0.2 mg/l, igual a la norma de agua potable) se considera sólo para seleccionar la fuente pues nunca se trata el agua para reducir el contenido de aluminio.

Arsénico

Es un elemento común en la corteza y por tanto, en agua y alimentos. Las altas concentraciones en el agua superficial son consecuencia de la disolución de minerales, efluentes industriales y el lavado de la atmósfera.

En aguas subterráneas el contenido se debe a la composición geológica del suelo, donde se llegan a reportar concentraciones de varios mg/l. La ingesta de arsénico es similar entre la cantidad que proviene del agua y la de los alimentos. El arsénico inorgánico es clasificado por el CIIC como carcinógeno. Por ello, la OMS ha establecido un valor guía provisional de 0.01 mg/l, que quizá es más estricto de lo necesario.

La NOM 127 SSA1 establece un valor inicial de 0.05 mg/l que va disminuyendo anualmente hasta llegar a 0.025 mg/l en el año 2005. Para remover el arsénico se aplica:

- Coagulación con hidróxidos metálicos, el sulfato férrico, cloruro férrico y alumbre con eficiencias de remoción del orden del 98 al 99%. Para altas concentraciones se recomienda una coprecipitación en etapas, no es usual en potabilización.

- Adsorción sobre carbón activado o alúmina activada.
- Intercambio iónico con resinas de base fuerte y débil para eliminar tanto arsenatos como arsenitos con eficiencias del 82 al 100%.
- Nanofiltración u ósmosis inversa.

Coagulación con hidróxidos metálicos, el sulfato férrico, cloruro férrico y alumbre con eficiencias de remoción del orden del 98 al 99%.

Para altas concentraciones se recomienda una coprecipitación en etapas, no es usual en potabilización.

- Adsorción sobre carbón activado o alúmina activada.
- Intercambio iónico con resinas de base fuerte y débil para eliminar tanto arsenatos como arsenitos con eficiencias del 82 al 100%.
- Nanofiltración u ósmosis inversa.

Bario

Es un elemento común de la naturaleza (el 16avo) pero su presencia en agua es sólo al nivel de trazas, se encuentra en suelos, rocas y en los depósitos de minas de plomo y zinc; también se halla en tejidos de plantas y animales,

Algunas aguas superficiales y marinas contienen bario y se ha llegado a encontrar concentraciones de hasta 1.6 mg/l, en forma natural, el bario existe como carbonato, las emisiones de bario en el aire provienen de mineras y refinerías.

El uso de combustibles fósiles puede liberarlo, la detonación de armamento nuclear en la atmósfera es una fuente de bario radiactivo, Se elimina del agua por coagulación-floculación-sedimentación-filtración en un 90%, si se encuentra formando parte de los sólidos en suspensión.

Si está en forma soluble se remueve por precipitación como sulfato de bario al agregar sulfuro de sodio o como carbonato si se eleva el pH entre 10 y 10.5., en ambos casos la eficiencia es del orden del 98%.

El intercambio iónico tiene eficiencias cercanas al 100%, al igual que la ósmosis inversa y la electrodiálisis

Cadmio

Se encuentra en las menas de zinc como greenockita (CdS) y otavita (CdCO₃). El cadmio forma fuertes ligaduras con las partículas del suelo, los sedimentos y la materia orgánica.

La actividad volcánica es la principal fuente natural de liberación de cadmio. También se encuentra en diversos alimentos, de donde se estima proviene una ingesta diaria de 10 a 35 µg.

El hábito de fumar y la contaminación del aire son importantes rutas de exposición. El Cd se introduce en los cultivos por el riego agrícola con agua contaminada y por el empleo de tubería y tanques de almacenamiento galvanizados con zinc, donde existe como parte de la aleación.

Hay una presencia difusa del elemento en la naturaleza debido a su participación como componente de fertilizantes y a la contaminación local del aire.

Se elimina del agua por coagulación-floculación-sedimentación-filtración con hidróxidos metálicos a pH entre 9.5 y 12.5.

Otros procesos que se emplean, son el intercambio iónico (el cual permite recuperar el metal), la ósmosis inversa y la electrodiálisis.

Cianuros

Los cianuros interfieren con la disponibilidad de oxígeno en las células por la inhibición de la oxidasa, una enzima necesaria para transportar el oxígeno celular.

Los efectos cuando se consumen altas dosis incluyen constricción del tórax, náusea, vómito, mareo, dolor de cabeza, palpitaciones, hiperpnea, disnea, bradicardia, inconsciencia, convulsiones y muerte.

En bajas concentraciones y con un consumo prolongado, los cianuros afectan la tiroides y el sistema nervioso.

Se ha comprobado que 4,7 mg de CN⁻ al día no provoca efecto alguno por lo que se puede beber 2 L de agua por día con un valor máximo permisible de 2.35 mg/l sin riesgo, sin embargo, el valor guía de la OMS es de 0.07 mg/l, que es igual al de la NOM.

La cloración alcalina oxida parcialmente los cianuros a cianato (CNO⁻) que es 20 veces menos tóxico, o completamente a dióxido de carbón (CO₂) y nitrógeno (N₂).

El principal problema asociado con la eliminación del cianuro es la presencia del hierro soluble que actúa como interferencia.

El agua con alta concentración de cianuros se trata por descomposición electrolítica y recuperación evaporativa, procesos que no son rentables para la potabilización, también es posible removerlos con intercambio iónico, ósmosis inversa y coagulación-floculación-sedimentación-filtración.

Cloro residual

En este caso, la NOM-127 SSA1-1994 establece un valor para el contenido de cloro residual libre no como un límite máximo sino como la cantidad mínima que debe haber en el agua de distribución para asegurar que durante su transporte del sitio de potabilización al usuario no haya contaminación por patógenos, este valor fue establecido con base en estudios sobre recrecimiento de coliformes fecales, así como por la sensibilidad de algunos patógenos comunes. Sin embargo, si el agua contiene partículas en suspensión puede haber un residual de cloro a pesar de haber coliformes fecales.

Es de destacar que el cloro, como todo desinfectante, tiene un efecto adverso en la salud humana.

La OMS ha establecido un valor guía de 5 mg/l el que reconoce como muy estricto. Este valor se entiende como a no sobrepasar manteniendo un residual de entre 0.5 a 1 mg/l. El residual establecido por la norma mexicana es de 0.2 a 1.5 mg/l.

Por el costo mismo del cloro, no es común encontrar agua sobre clorada. Los umbrales de sabor y olor del cloro son de 5 y 2 mg/l en agua destilada respectivamente.

De hecho, la mayor parte de las personas perciben el sabor del cloro y de sus productos secundarios (cloraminas) por debajo de 5 mg/l e incluso hasta de 0.3 mg/l. Residuales de entre 0.6 y 1 mg/l comienzan a crear problemas de aceptación.

Cloruros

Son compuestos de cloro con otro elemento o radical, presentes en casi todas las aguas naturales y en un amplio intervalo de concentraciones.

De los más abundantes y estables son el cloruro de sodio (sal común) y en menor grado el de calcio y magnesio. Los cloruros provienen de la disolución de rocas basálticas y sedimentarias, así como de efluentes industriales.

Los principales problemas causados por un exceso de cloruros se relacionan con la aceptabilidad durante el suministro. Los umbrales de sabor del cloruro dependen del catión asociado y son del orden de 200 a 300 mg/l para el potásico, sódico y cálcico.

Concentraciones mayores a 250 mg/l son objetables y de 500 mg/l confieren un sabor francamente desagradable. Un contenido elevado de cloruros (por arriba de 200 mg/l para agua caliente y de 600 mg/l en agua fría y en función de la alcalinidad) eleva la tasa de corrosión de los sistemas de distribución y puede, además, hacer que incremente el contenido de metales en el agua por este efecto. El valor guía de la OMS y el de la NOM son iguales a 250 mg/l.

El cloruro, por ser muy soluble, es muy difícil de eliminar y de hecho ello se evita a menos que se trate de un sistema para desalar agua. En este caso aplican los procesos de membrana (ultrafiltración y ósmosis inversa), el intercambio iónico y la destilación. Esta última se considera rentable para fines de suministro cuando es efectuada por métodos solares.

Cobre

Es un nutriente esencial y la ingesta diaria recomendada es de 1 a 3 mg; Su deficiencia se asocia con la anemia. En concentraciones mayores, es tóxico y puede generar severos daños gastrointestinales e incluso, en exceso, la enfermedad de Wilson (degeneración hepatolenticular) que es fatal.

Debido a que es un buen conductor eléctrico, el cobre es ampliamente utilizado en la industria eléctrica y en aleaciones con otros metales. Los compuestos orgánicos del cobre se utilizan como fungicidas, insecticidas, catalizadores y para elaborar pigmentos.

Aguas subterráneas duras con elevado contenido de oxígeno disuelto y contenido de dióxido de carbono superior a 5 mg/l corroe la tubería de cobre. Las aguas superficiales con materia orgánica tienen un efecto similar.

El cobre es más peligroso en aguas blandas que en duras; la forma Cu^{2+} es la más tóxica. El cobre dificulta el uso de agua para fines domésticos pues incrementa la tasa de Corrosión de accesorios de hierro galvanizado y de acero.

En concentraciones de 1 mg/l produce manchas rojizas en la ropa al ser lavada y si es de 5 mg/l crea depósitos de óxido en los grifos y da un mal sabor al agua. El valor guía provisional de la OMS, basado en criterios sanitarios, es de 2 mg/l que también protege de los problemas de aceptabilidad. Este valor es igual al de la NOM -127.

Se evita la presencia del cobre en el agua mediante su ablandamiento, por coagulación-floculación-sedimentación-filtración y se elimina una

vez presente por medio de ósmosis inversa o intercambio iónico, procesos que resultan muy costosos para este fin.

Cromo Total

El cromo está ampliamente distribuido en la corteza terrestre con valencias de 2+ a 6+. En general, los alimentos parecen ser la principal fuente de ingesta de este elemento. Las concentraciones totales en el agua de bebida son habitualmente inferiores a 0.002 mg/l, aunque se han notificado concentraciones de hasta 0.120 mg/l.

Las principales fuentes de cromo en el agua son la industria de cromado (trióxido de cromo), el empleo de conexiones cromadas en circuitos de enfriamiento de agua y de acondicionamiento de aire, los catalizadores de síntesis orgánica y la industria fotográfica. Además, hay una cantidad significativa en la lluvia y el mar.

Para controlar el cromo es suficiente con reducirlo de su estado tóxico (valencia de VI) al no tóxico (valencia de III), ello se realiza con SO_3 , sosa cáustica o cal que forman un precipitado de hidróxidos a pH entre 8,5 y 9,5, con eficiencias superiores al 99%. El Intercambio iónico es eficiente y económico si se emplea para recuperar el metal.

Las resinas catiónicas remueven cromo trivalente, mientras que las aniónicas remueven cromatos y dicromatos, pero ello debe ser realizado a un pH menor de 4, para preservar la resina del ataque oxidante del ácido crómico, lo que encarece el proceso para fines de potabilización. Adicionalmente, el intercambio iónico y la ósmosis inversa permite remover el cromo total del agua; de acuerdo a la NOM-127 también se puede utilizar la coagulación-floculación-sedimentación-filtración

Dureza

La dureza representa la concentración de cationes metálicos multivalentes presentes en el agua.

Es causada principalmente por las sales de Ca y Mg (en ese orden) y en menor grado por Al, Fe, Mn, Sr y Zn.

Por la variedad de compuestos que intervienen, la dureza se expresa como una cantidad equivalente de CaCO_3 . La dureza se clasifica en carbonatada (temporal) y no carbonatada (permanente). La primera es sensible al calor, precipita a altas temperaturas y equivale a la alcalinidad.

Cuando el agua es "dura" significa que contiene sales incrustantes, dificulta la cocción de legumbres e impide la formación de espuma con el jabón. En cuanto al sabor, la aceptación por parte del público es muy variable pues el umbral varía entre 100 y 300 mg/l, según sea el anión asociado (por ejemplo, la dureza de magnesio tiene un sabor más fuerte que la del calcio).

En general, la gente tolera hasta 500 mg/l, que es el valor guía establecido por la OMS con fines estéticos y que es igual al de la NOM. Al proceso de eliminar la dureza se le denomina "ablandamiento" y se realiza por diferentes métodos. El más usado es la precipitación del Mg^{2+} y del Ca^{2+} con cal y carbonato de sodio para producir hidróxidos y carbonatos.

Por medio del intercambio iónico se logra un ablandamiento total y con el calentamiento se elimina la dureza temporal, pero estos dos métodos se realizan casi sólo a nivel doméstico.

Fenoles

Los compuestos fenólicos que se encuentran en las aguas superficiales son resultado de la contaminación antropogénicas por una diversidad de productos industriales provenientes de la manufactura del acero, la destilación del coque, la refinación del petróleo y de operaciones químicas.

También provienen de productos para tratar la madera, biocidas y de aguas municipales. En el agua subterránea se encuentran en áreas con estratos petroleros.

Los fenoles en presencia de cloro se transforman en clorofenoles (2-clorofenol, 2,4 diclorofenol y 2,4,6 triclorofenol) que son objetables debido a problemas de olor y sabor.

Los umbrales respectivos son de 0.1, 0.3 y 0.2 µg/l para el sabor y los de olor de 10, 40 y 300 µg/l. Estos umbrales están por debajo de los límites de toxicidad. La OMS establece un valor guía basado en criterios sanitarios sólo para el 2,4,6 triclorofenol y es de 200 µg/l mientras que la NOM limita el contenido a 300 µg/l.

Los fenoles pueden eliminarse mediante oxidación con ozono y adsorción en carbón activado, ambos son procesos muy costosos, de acuerdo a la NOM-127 también se puede utilizar la coagulación-floculación-sedimentación-filtración.

Hierro

El hierro es un elemento común en la corteza terrestre por lo que se encuentra naturalmente en el agua en concentraciones que van de 0.5 a 50 mg/l. Es un elemento esencial para la salud y sus requerimientos varían entre 10 y 50 mg/d en función de la edad, sexo y estado fisiológico.

En el agua de consumo también puede estar presente debido a la utilización de coagulantes de Fe, o por la corrosión de tuberías. El hierro con frecuencia se encuentra en agua subterránea y si ésta es anaerobia puede haber concentraciones de hasta varios miligramos por litro sin que el agua, esté coloreada o turbia.

Sin embargo, al entrar en contacto con el oxígeno de la atmósfera el hierro ferroso se oxida a férrico y el agua adquiere un color café desagradable. En concentraciones superiores a 0.3 mg/l el hierro mancha la ropa y las tuberías. Como sabor, el hierro es aceptado hasta en niveles de 1 a 3 mg/l. Además, provoca la aparición de bacterias que lo consumen y forman una biopelícula gelatinosa en tuberías y tanques que es rechazada por el consumidor.

El criterio de la OMS es de 0.3 mg/l establecido con base en los aspectos estéticos y es igual al de la norma. Para eliminar al hierro se emplean zeolitas o "greensand", precipitación por oxidación con aire a pH de 7 a 7.5, sedimentación y filtración, con diversos oxidantes, intercambio iónico y ósmosis inversa.

Fluoruro

El flúor representa 0.3 g/kg de la corteza terrestre. La concentración máxima presente en forma natural en el agua de abastecimiento rara vez excede de 5 mg/l aunque se llegan a encontrar valores hasta de 10 mg/l.

Se recomienda consumir F a razón de 0.7 a 3.4 mg/d en la comida o con el agua. La concentración óptima para evitar las caries en la población infantil es de 0.7 a 1.2 mg/l. Pero, concentraciones superiores a 4.0 mg/l provocan fluorosis dental (oscurecimiento del esmalte) y esquelética.

El consumo de 8 a 20 mg/l de fluoruro durante un período largo afecta al sistema óseo. Con base en un consumo de 2 litros de agua por día, se considera que una dosis de 2000 mg/l es letal. En caso de tener un exceso de flúor se puede disminuir por precipitación con cal, compuestos de magnesio (como dolomitas) y alumbre.

La adsorción se usa para concentraciones bajas de fluoruros a escala doméstica; se emplea para ello la hidroxilapatita, resinas de intercambio iónico, la alúmina activada o el carbón de hueso. También los procesos de membrana como la ultrafiltración o la ósmosis inversa lo eliminan. El valor guía de las OMS y el de la NOM 127 es de 1.5 mg/l y se basa en aspectos sanitarios.

Benceno

Es un hidrocarburo aromático que se utiliza principalmente para fabricar otros productos químicos orgánicos y forma parte de la gasolina.

En agua aparece como consecuencia de la contaminación antropogénica y su concentración por lo general es menor de 5 µg/l. El benceno afecta el sistema hematopoyético y puede producir leucemia. Una exposición aguda afecta al sistema nervioso central y si es continua produce cáncer.

De hecho, forma parte del grupo 1 del CIIC. El valor guía de la OMS es de 10 µg/l, que es igual al de la NOM. Para eliminarlo se emplea oxidación con ozono, seguido de filtración y/o adsorción en carbón activado; pueden ser utilizados procesos de membrana.

Etilbenceno

La presencia en el ambiente del etilbenceno se debe a la industria del petróleo y sus derivados. Como contaminante, se encuentra principalmente en aire y hay muy poco en agua.

El etilbenceno se absorbe por vía oral, cutánea y por inhalación almacenándose en el tejido adiposo. La toxicidad aguda por vía oral es baja. Se cuenta con poca información sobre su teratogenicidad, toxicidad de largo plazo y carcinogenicidad.

La OMS estableció un valor guía, con la escasa información disponible, de 300 µg/l., valor que sobrepasa el umbral de olor (de 2 a 130 µg/l) y el de sabor (72 a 200 µg/l). El valor guía es igual al de la norma mexicana. El etilbenceno se elimina por oxidación con ozono, seguido de filtración y/o adsorción en carbón activado; pueden ser utilizados procesos de membrana.

Tolueno

Se utiliza principalmente como disolvente y en las mezclas de gasolina. Se han encontrado concentraciones del orden de µg/l en aguas superficiales, subterráneas y de bebida. Emisiones puntuales (como la fuga de ductos de gasolina o de petróleo) puede dar lugar a concentraciones elevadas.

Fuera de estas condiciones la principal ruta de exposición es el aire contaminado y el cigarro. La toxicidad aguda del tolueno por vía oral es baja. En casos de exposición ocupacional se han observado alteraciones del sistema nervioso central. El tolueno ejerce efectos embriotóxicos y fetotóxicos.

El valor guía de las OMS es de 700 µg/l (igual al de la NOM) y es superior al umbral de sabor (40 a 120 µg/l) y al del olor (24 a 170 µg/l) el cual además es fragante acre, similar al del benceno.

El tolueno se elimina mediante oxidación con ozono, seguido de filtración y/o adsorción en carbón activado; pueden ser utilizados procesos de membrana.

Xileno (tres isómeros)

Los xilenos son componentes de la gasolina, disolventes e intermediarios químicos. Llegan al medio ambiente a través del aire ya que son volátiles. Se han encontrado xilenos en aguas superficiales, subterráneas y de bebida en concentraciones de hasta 8 µg/l. En aguas subterráneas contaminadas por emisiones puntuales, como rotura de ductos, la concentración puede ascender hasta varios mg/l.

La toxicidad de los xilenos absorbidos por vía oral es baja. No se han hallado pruebas convincentes de su teratogenicidad. Estudios de carcinogenicidad a largo plazo no han proporcionado pruebas de ésta y, las de mutagenicidad in vivo e in vitro han resultado negativas.

El valor guía de las OMS y el de la NOM-127 es de 500 µg/l. El umbral de sabor de los xilenos es de 300 a 1000 µg/l y de los isómeros de 20 a 1800 µg/l. El xileno y sus isómeros se eliminan mediante oxidación con ozono, seguido de filtración y/o adsorción en carbón activado; pueden ser utilizados procesos de membrana.

Manganeso

El manganeso es uno de los metales más abundantes en la corteza terrestre, que por lo general se encuentra junto con el hierro. El manganeso se asocia con cloruros, nitratos y sulfatos. Las concentraciones de manganeso disuelto en las aguas subterráneas y superficiales pobres en oxígeno pueden alcanzar varios miligramos por litro. En aguas oxigenadas, el manganeso forma sólidos insolubles que precipitan fácilmente.

Acelera el crecimiento biológico en los sistemas de distribución, taponar tuberías, mancha la ropa, contribuye con los problemas de olor, color y

sabor del agua potable. El manganeso es un oligoelemento indispensable.

El requerimiento diario es de 2 a 3 mg en adultos y puede llegar hasta 20 mg sin efectos perjudiciales. Concentraciones por arriba de 0.1 mg/l (valor guía de la OMS) generan problemas estéticos. Como la coloración del agua y un incremento en la turbiedad. En México, la NOM-127 establece un valor de 0.15 mg/l.

Para remover el manganeso se emplea precipitación por oxidación a pH alto (>9,5). El sistema de remoción típico es oxidación seguida de coagulación-floculación, sedimentación y filtración. Los agentes oxidantes más comunes son cloruro, oxígeno y permanganato de potasio. Se elimina también con zeolitas a través de una filtración en medio mixto oxidado. El intercambio iónico se aplica si se encuentra en forma de ión manganeso, la concentración de SDT es baja (< 500 ppm), el pH es bajo (< 8) y hay baja concentración de oxígeno disuelto.

Mercurio

El mercurio natural se deposita en la corteza terrestre en cantidades de 2500 ton por año debido a la deposición de gases volcánicos y a la evaporación y condensación de agua de mar.

Las fuentes antropogénicas también contribuyen a la deposición atmosférica. Los compuestos del mercurio orgánico son usados para tratar semillas; aunque, como fungicidas sus compuestos están prohibidos en muchos países.

Las tres principales especies de mercurio son: mercurio elemental Hg⁰; el mercurio inorgánico Hg²⁺; y el mercurio metílico CH₃Hg⁺. El 99% del mercurio atmosférico existe en la forma de Hg⁰, sin embargo, el mercurio del suelo está en todas las formas químicas.

El mercurio metálico causa dermatitis por contacto, genera la enfermedad de Pink en los niños y sus vapores provocan la enfermedad de Kawasaki.

La dosis a partir de la cual se comienzan a manifestar síntomas en el organismo es de 0.5 mg/l y se tienen problemas serios a partir de 6 mg/l. Los efectos biológicos del mercurio orgánico dependen de la relación dosis respuesta entre el metilmercurio y los organismos que lo ingieren.

Para prevenir efectivamente el riesgo en el hombre y otros organismos se debe considerar a la atmósfera como una fuente, además de las otras posibles. La OMS no considera al mercurio metálico como carcinógeno, pero establece un valor guía para el mercurio total de 0.001 mg/l que corresponde a lo que limita la NOM-127.

La selección de un método de tratamiento depende de la naturaleza y concentración inicial del mercurio, la presencia de interferencias y el grado de remoción que debe ser alcanzado. El intercambio iónico se usa para remover al mercurio inorgánico. Para ello, primero se forma el complejo de cloruro de mercurio por adición de cloro (Para oxidar el mercurio metálico) y, posteriormente, se remueve dicho complejo en una resina de intercambio aniónico.

La coagulación-floculación utiliza reactivos como el sulfato de aluminio y las sales de hierro. Se aplica para remover mercurio orgánico e inorgánico con remociones del orden del 99%. El mercurio iónico inorgánico se puede convertir a la forma metálica por reducción, la cual es separada por filtración.

Los agentes reductores pueden ser el aluminio, el zinc, la hidrazina, el cloruro estanoso y el borohidruro de sodio. La principal ventaja de este método es la recuperación del mercurio metálico, sin embargo, su eficiencia de remoción es baja (<50%). La eficiencia del tratamiento con carbón activado depende de la concentración y forma del mercurio, dosis y tipo de carbón, así como del tiempo de contacto entre el carbón y el agua.

Al incrementar este último se mejora la remoción de mercurio orgánico e inorgánico; se llega a eliminar el orgánico con eficiencias de 85 a 99% cuando las concentraciones de mercurio son altas (0.01 a 0.10

mg/l). Sin embargo, para concentraciones menores de 0.001 mg/l la eficiencia decae hasta 70%. Se puede emplear también un proceso de ósmosis inversa.

Nitratos y Nitritos

Los nitratos y los nitritos son iones presentes en la naturaleza intercambiables entre ambos a través de un gran número de reacciones químicas y biológicas. Los nitritos (NO₂) y nitratos (NO₃) se expresan, por lo general, en términos de nitrógeno oxidado total (NO_x).

En las aguas superficiales y subterráneas, las concentraciones ascienden por lo general a unos cuantos mg/l. En particular, en aguas subterráneas, su concentración se ha incrementado como resultado de la lixiviación de los fertilizantes que emplean nitrato de amonio. Los nitratos son reducidos a nitritos por la ausencia de oxígeno. Esta reacción puede llevarse a cabo de una manera parcial o completa.

Las aguas que contienen una elevada cantidad de nitratos son potencialmente dañinas debido a su reducción en nitrito el cual bloquea la hemoglobina y produce metahemoglobina. Este compuesto por sí mismo no es tóxico, pero reduce el transporte de oxígeno por la sangre en menores de 6 meses.

De acuerdo con la OMS (1995) no ha habido ningún caso de metahemoglobinemia al consumir agua con más de 10 mg/l y se ha podido constatar en varias ocasiones que concentraciones hasta de 20 mg/l no tienen efectos en lactantes; más bien, los episodios de metahemoglobinemia han estado asociados con fuentes adicionales de nitratos, así como por la presencia de enfermedades causadas por bacterias que bloquean la reacción que evita la reducción de los nitratos a nitritos.

Otro problema es la posible formación de nitrosaminas, las cuales son potencialmente carcinógenas en el tracto digestivo. Éstas se forman por la ingesta de nitritos, por la descomposición bacteriana de nitratos, que reaccionan con aminos secundarias y terciarias de los alimentos.

Existen diferentes métodos para eliminar los nitratos y nitritos como:

- Nitrificación/desnitrificación biológica
- Desorción de amoníaco con aire (stripping).
- Intercambio iónico.
- Cloración hasta el punto de quiebre.
- Ósmosis inversa.
- De acuerdo a la NOM-127 también se puede utilizar la coagulación-floculación sedimentación-filtración.

En la actualidad, sólo la nitrificación/desnitrificación biológica es considerada como relativamente rentable, pero para agua residual. En agua potable no hay proceso que se considere rentable; cuando hay ese problema se cambia de fuente o en algunos países, se reparte agua embotellada a las familias con niños.

Los valores guías de la OMS son de 50 mg NO₃/l junto con 3 mg NO₂/l, pero establecidos en forma conjunta de manera que la suma de las razones entre la concentración de cada uno y su respectivo valor guía no sobrepase la unidad. La norma mexicana los limita por separado a los nitratos en 10 mg/l medidos como N y los nitritos a 1 mg/l, también como N.

Nitrógeno Amoniacal

El nitrógeno amoniacal corresponde al N del NH₄⁺, que está en equilibrio con el NH₃, que es el amoníaco. El nitrógeno amoniacal no es tóxico pero el amoníaco sí lo es, en concentraciones rara vez encontradas en agua de suministro. Normalmente hay menos de 0.2 mg/l, pero en aguas subterráneas anaerobias puede ascender hasta 3 mg/l.

El nitrógeno amoniacal proviene de los procesos metabólicos, agrícolas e industriales. Su presencia indica posible contaminación con aguas residuales. De acuerdo con la OMS el amoníaco presente en agua potable no tiene una importancia inmediata para la salud por lo que no se propone un valor guía basado en criterios sanitarios.

Sin embargo, por los problemas de olor (umbral de 1,5 mg/l), sabor (umbral del 35 mg/l) y su interferencia con la desinfección se establece un valor guía de 1,5 mg/l. En México, la norma estipula un valor de 0.5 mg/l. Su remoción generalmente se lleva a cabo mediante la desgasificación o desorción en columna, de acuerdo a la NOM-127 también se puede utilizar la coagulación floculación-sedimentación-filtración.

pH Potencial Hidrógeno

El pH es una variable importante en el manejo de la calidad del agua pues influye en los procesos químicos y biológicos. Mide el balance de acidez de una solución y se define como el logaritmo negativo en base 10 de la concentración del ión H_3O^+ . La escala de pH va del 0 al 14 (muy ácido a alcalino), el valor de 7, representa la neutralidad.

En un agua no contaminada el pH es el controlador principal del balance entre el CO_2 , $CO_3^{=}$ y el HCO_3^- , así como de otros compuestos naturales como los ácidos fúlvicos y húmicos.

En sistemas de abastecimiento uno de los principales propósitos para controlar el pH es reducir al mínimo la corrosión, que es consecuencia de las complejas relaciones entre el pH, el CO_2 , la dureza, la alcalinidad y la temperatura.

Para ello, en general se mantiene el pH cercano a 7, la corrosión provoca la introducción de componentes en el agua no deseable que causan problemas de sabor y color y afecta la precipitación o solubilización de los metales.

Valores superiores de pH de 11 se relacionan con irritación ocular y agravación de trastornos cutáneos. La OMS no establece un valor guía pero recomienda su control para una adecuada clarificación y desinfección del agua (para lo cual no debe ser mayor de 8).

La neutralización es el proceso que se emplea para ajustar el pH. Los reactivos y las cantidades que intervienen, así como la economía del

proceso dependen de las características del agua, principalmente de su alcalinidad.

Aldrín Dieldrín

Son plaguicidas clorados que se utilizan contra plagas que viven en el suelo, para preservar madera, y en el caso del dieldrín, contra insectos de importancia en salud pública. Ambos compuestos tienen una estrecha relación por su toxicología y modo de acción.

El aldrín se convierte fácil y rápidamente en dieldrín en el medio ambiente y el organismo. El dieldrín es un compuesto orgánico del cloro muy persistente, de movilidad reducida en el suelo que se puede liberar a la atmósfera. Ocasionalmente, se encuentran en el agua y su presencia se debe a la aplicación directa en plantas y control de insectos acuáticos, por percolación y escurrimientos pluviales de zonas agrícolas, de aerosoles por aplicación aérea y por descargas industriales.

Ambos insecticidas están prohibidos en México tanto en su importación, fabricación, formulación, comercialización y uso (DOF 3 de enero de 1991). El aldrín y dieldrín son compuestos de elevada toxicidad crónica, aún en cantidades traza, con tendencia a acumularse en tejidos, grasos, tienen una elevada persistencia en el suelo y los alimentos y capacidad para la biomagnificación en las redes tróficas.

Causan desórdenes en el sistema nervioso central, náusea, vómito, temblores, ataxia, falta de coordinación muscular, convulsiones epilépticas, daño renal, albuminuria, hematuria y falla respiratoria. El valor guía de la OMS para agua potable es de 0.03 µg/l que es igual al de la norma. Ambos compuestos se eliminan por oxidación con ozono, pero con formación de subproductos y mediante adsorción con carbón activado granular.

Clordano (total de isómeros)

El clordano y sus isómeros (cis y trans) son insecticidas y herbicidas organoclorados de amplio espectro. Su uso en México está restringido exclusivamente para el control de termitas (CICOPLAFEST, 1998).

Son muy resistentes a la degradación química y bioquímica, y quedan fijos en el suelo pasando muy difícilmente al agua subterránea, donde sólo se han encontrado en raras ocasiones. Su presencia se debe a una aplicación directa en plantas y control de insectos acuáticos, escurrimientos pluviales de zonas agrícolas, aerosoles por aplicación aérea y por descargas industriales. Están catalogados en el grupo 2 B del CIIC, no son genotóxicos, aunque ocasionan problemas hepáticos.

El valor guía de la OMS es de 2 µg/l y el de la norma de 0.2 µg/l. Se eliminan por oxidación con ozono y adsorción con carbón activado granular.

D.D.T (total de isómeros)

Es un insecticida organoclorado muy resistente a la degradación química y bioquímica. En el agua su presencia se debe a la aplicación directa en plantas y control de insectos acuáticos, escurrimientos pluviales de zonas agrícolas, de aerosoles por aplicación aérea y descargas industriales.

Es muy útil para controlar vectores del paludismo y bajo esas circunstancias se estima que sus beneficios son superiores a los riesgos que representan. Por su alto riesgo para la salud humana, su elevada persistencia y propiedades de bioacumulación, este plaguicida sólo puede ser usado por las dependencias del ejecutivo en campañas sanitarias.

El DDT tiene una elevada toxicidad crónica, aún en cantidades traza, con tendencia a acumularse en tejidos grasos, tiene una elevada persistencia en el suelo y los alimentos y capacidad para la biomagnificación en las redes tróficas.

Se clasifica por el CIIC en el grupo 2B por su inadecuada evidencia de carcinogenicidad en humanos, pero con suficiente en animales. El valor guía de la OMS es de 2 µg/l en tanto que la norma mexicana es de 1 µg/l. Se elimina por oxidación con ozono y mediante adsorción en carbón activado granular.

Gamma-HCH Lindano

El lindano o γ -hexaclorociclohexano es un insecticida y acaricida usado desde hace mucho tiempo. Adicional a su uso agrícola, se emplea en salud pública y como conservador de madera, su uso en México está restringido por la CICOPLAFEST. El lindano es un compuesto persistente, ubicuo que aún cuando tiene poca afinidad por el agua se ha detectado en ella.

La exposición principal es por los alimentos, se clasifica por el CIIC en el grupo 2B por su inadecuada evidencia de carcinogenicidad en humanos, pero con suficiente para animales. Es potencialmente teratogénico irritante dérmico, ocular y de mucosas. Se puede absorber a través de la piel, Generadebilidad, náusea, vómito, diarrea, temblores, convulsiones, disnea y colapso circulatorio.

El valor guía de la OMS es 2 $\mu\text{g/l}$ que es igual al de la norma. Se elimina por oxidación con ozono y mediante adsorción en carbón activado granular.

Hexaclorobenceno (HCB)

Es un funguicida selectivo de uso poco frecuente en la actualidad. Su presencia en el ambiente se debe a que es un producto secundario de varios compuestos químicos, se halla en forma de impurezas en algunos plaguicidas o constituye uno de sus metabolitos (del lindano, en particular).

El HCB es absorbido fuertemente por el suelo y sedimentos. Su vida media se mide en años, es un contaminante ubicuo que se libera fácilmente a la atmósfera. Es resistente a la degradación y tiene un gran potencial de acumulación en los tejidos.

Se considera que la principal fuente son los alimentos y no se ha detectado en agua de consumo. Pertenece al grupo 2B del CIIC. Irrita los ojos, piel, mucosas y el tracto respiratorio superior. El valor guía de la OMS y el de la norma son iguales a 1 $\mu\text{g/l}$, se elimina por oxidación con ozono y mediante adsorción en carbón activado granular.

Heptacloro y Epóxido de heptacloro

Es un insecticida organoclorado de amplio espectro, cuyo uso se ha prohibido o restringido en muchos países. El heptacloro es bastante persistente en el suelo, donde se transforma en su epóxido, que es muy resistente a la biodegradación.

Tanto el heptacloro como su epóxido se adhieren a las partículas del suelo y se desplazan por ello muy lentamente, ambos, se han encontrado en agua de bebida en concentraciones de nanogramos por litro, aunque la principal ruta de exposición son los alimentos.

Se clasifica por el CIIC en el grupo 2B por su inadecuada evidencia de carcinogenicidad en humanos y en animales. La exposición prolongada se ha asociado con lesiones hepáticas y efectos tóxicos del sistema nervioso central. El valor guía de las OMS es de 0.03 µg/l, que es igual a la norma. Se elimina por oxidación con ozono y mediante adsorción en carbón activado granular.

Metoxicloro

Es un insecticida utilizado en las hortalizas, frutas, árboles, forraje y animales de granja. Se disuelve mal en agua y es sumamente inmóvil en la mayor parte de los suelos agrícolas, en condiciones normales de uso, el Metoxicloro no parece ser perjudicial para el medio ambiente, no obstante, se ha detectado ocasionalmente en el agua de bebida.

En México está restringido por la CICOPAFEST desde 1998, está clasificado por el CIIC en el grupo 3 por su inadecuada evidencia de carcinogenicidad en humanos y en animales. El valor guía de la OMS y el de la norma es de 20 µg/l. Se elimina por oxidación con ozono y mediante adsorción en carbón activado granular.

2,4 (ácido 2,4 diclorofenoxiacético)

Este ácido es un herbicida utilizado para el control de malezas de hoja ancha, pre y post emergente. Es poco persistente pues su vida media antes de biodegradación es de una a varias semanas en agua y de días a seis semanas en suelo, rara vez se encuentra en agua y si está presente las concentraciones son pequeñas.

Pertenece al grupo 2B de la clasificación del CIIC, presenta efectos tóxicos, con tendencia a acumularse en los tejidos. El valor guía de la OMS y el de la norma es de 30 µg/l. Al igual que los otros plaguicidas, se elimina por oxidación con ozono y mediante adsorción en carbón activado granular.

Plomo

En el agua de lluvia se puede encontrar plomo en concentraciones de 40 a 300 µg/l, en zonas de alta densidad automovilística. Pero, debido al retiro del tetraetilo de plomo de las gasolineras, estos valores están en descenso. En los océanos el plomo ha ido en aumento de 0.01 mg/l a 0.07 en 75 años.

Las fuentes comunes de ingestión del plomo son los alimentos, el aire, el humo de tabaco y el empleo de barro vidriado. El plomo presente en el agua de la llave procede, en cierta medida de las fuentes de suministro hasta en valores de 5 mg/l (en la corteza terrestre hay alrededor de 0.017 mg/kg) pero sobre todo de la propia fontanería que contiene plomo y que lo libera por corrosión.

Su contenido depende de varios factores, en particular del pH, temperatura, dureza del agua y tiempo de residencia del agua en la tubería. El agua blanda y ácida es la que mejor disuelve el plomo (plumbosolubencia). La presencia de carbonato limita la solubilidad del plomo en tanto un pH menor de 8 la favorece.

Las tuberías de plomo aún son comunes en las viviendas viejas y se sigue utilizando en las juntas para la tubería de cobre. El plomo se considera como un veneno fuerte y bioacumulativo. Los efectos de toxicidad aguda son: anorexia, vómito, malestar general y convulsiones (debido al incremento de la presión intracraneal).

Niños con toxicidad crónica muestran pérdida de peso, debilidad y anemia. El plomo se transfiere a través de la placenta y los niños absorben de 4 a 5 veces más que los adultos. El envenenamiento por plomo orgánico afecta al sistema nervioso central, asimismo tiene efectos gastrointestinales y cardiovasculares; daño renal y hepático, se

puede ingerir durante varias semanas agua que contenga de 2 a 4 mg/l de plomo sin presentar ningún síntoma, pero su empleo durante tres meses resulta dañino.

El consumo de 15 mg/l de plomo durante varias semanas puede ser fatal. Concentraciones de 0.05 mg/l se consideran fisiológicamente seguras para el hombre. La precipitación del plomo se realiza a pH entre 9.2 y 9.5, la eficiencia para la formación de precipitados decrece rápidamente a valores extremos de pH.

Los reactivos empleados son la cal o los hidróxidos, las cenizas de sosa y los fosfatos. El tratamiento con cal produce un lodo de buena sedimentación mientras que con sosa cáustica se requiere filtración. La eficiencia por precipitación más sedimentación excede del 99%.

La forma orgánica del plomo no es fácil de eliminar por precipitación por lo que debe previamente transformarse con cloración. El intercambio iónico y la ósmosis inversa se usan para plomo orgánico e inorgánico, el efluente se trata a un pH entre 5.0 y 5,2 eliminando el plomo hasta en un 99,9%, el plomo orgánico se remueve con resinas de intercambio catiónico de ácido fuerte.

Sodio

Es el catión principal en la biosfera y constituye el 2,83% de la corteza terrestre. Se encuentra sólo en estado combinado, en sales extremadamente solubles por lo que está en altas concentraciones en toda agua. En océanos y lagos salinos se encuentra como cloruro de sodio, NaCl, y en menor grado como carbonato de sodio, Na₂CO₃, y sulfato de sodio, Na₂SO₄.

El sodio es un constituyente natural de los tejidos de plantas y animales, se asocia con la alta presión en la sangre y enfermedades del corazón si es consumido en exceso, sin embargo, la falta de evidencia certera, así como el hecho del elevado consumo de sodio en los alimentos, han hecho que la OMS no establezca un valor guía para el agua con base en la salud.

La concentración umbral del sabor depende del anión asociado con el sodio y de la temperatura. A temperatura ambiente el umbral es de 200 mg/l, que es el valor que se recomienda con fines estéticos por la OMS y la NOM de México. La sal se elimina mediante intercambio iónico o procesos de membrana como la ósmosis inversa y nanofiltración, procesos que son rentables en zonas costeras donde el agua dulce es escasa.

Sólidos Disueltos Totales (SDT)

Se entiende por sólido disuelto todo residuo que queda después de filtrar en membranas de 1.2 μm de poro y evaporar el agua a 103°C. Contiene compuestos muy variados por lo que se dice que es una prueba global.

Los sólidos incluyen tanto las sales inorgánicas (carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos de sodio, potasio, calcio, magnesio y hierro) como materia orgánica. El intervalo usual de sólidos disueltos totales en agua de abastecimiento varía de 25 a 5 000 mg/l, en función de la geología local.

La concentración normalmente deseable es de 200 mg/l. La conductividad varía directamente con la cantidad de sólidos disueltos, principalmente por las sales minerales, por lo que se considera una medida indirecta de éstos que es muy útil en campo por su rapidez y sencillez.

La conductividad o conductancia específica es una medida de la habilidad del agua para conducir la corriente eléctrica. Las unidades de medida son el inverso de ohms (expresan resistencia) y se denominan mhos o microsiemens ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en el SI (Sistema internacional).

Los sólidos disueltos pueden tener importantes efectos en el sabor. Se considera que menos de 600 mg/l no se perciben, aunque contenidos muy bajos producen un agua insípida.

Por arriba de 1 200 mg/l el agua comienza a ser rechazada, asimismo, los sólidos disueltos promueven la corrosión.

Para evitar en los últimos problemas la OMS recomienda no exceder 1000 mg/l, que es igual al valor de la norma. Cuando el agua tiene iones (sodio, magnesio o sulfato, por ejemplo) la reducción de los sólidos disueltos totales se logra mediante la ósmosis inversa, la electrodiálisis, la destilación y el intercambio iónico; de acuerdo a la NOM-127 también se puede utilizar la coagulación-floculación-sedimentación-filtración seguido de alguno de los anteriores métodos.

Tanto el intercambio iónico y la electrodiálisis son aplicables para concentraciones por arriba de 5 000 mg/l de SDT, mientras que la destilación y la ósmosis para valores inferiores.

Sulfatos

Los sulfatos están presentes en forma natural en diversos minerales. La concentración en aguas naturales varía en un intervalo de pocos mg/l hasta cientos de mg/l y contribuyen a la dureza no carbonatada.

Los sulfatos son comunes en los acuíferos y pueden ser utilizados como fuente de oxígeno por bacterias "sulfatorreductoras" que lo convierten en ácido sulfhídrico. El sulfato es uno de los aniones menos tóxico, sin embargo, altas concentraciones provocan catarsis, deshidratación e irritación gastrointestinal.

También, imparten sabor al agua y cuando se combinan con el magnesio (sulfato de magnesio-sal de Glauber) o sodio (sulfato de sodio-sal de Epsom) tienen un efecto laxativo. Por lo anterior la OMS sugiere no exceder o vigilar fuentes con más de 500 mg/l, con fines estéticos. En México se limita el valor a 400 mg/l.

Los sulfatos se eliminan mediante coagulación-floculación-sedimentación-filtración y precipitación o mediante procesos de intercambio iónico u ósmosis inversa.

Sustancias Activas al Azul de Metileno

Aunque pueden ser varias las sustancias activas al azul de metileno, son los detergentes quienes dominan en esta prueba.

Éstos son compuestos tensoactivos sintéticos cuya presencia se debe a vertidos urbanos e industriales. El principal problema para el agua de consumo es el sabor que los detergentes imparten, ya que el umbral es muy bajo.

La norma limita el valor a 0.5 mg/l; la OMS no lo considera. Para eliminar los detergentes se emplea la espumación, la ozonización con dosis muy altas y el carbón activado (con eficiencias del 50 % en dosis 12,5 a 25 mg/l de agua, según la naturaleza de los detergentes y el tipo de decantador utilizado).

Cuando hay picos de concentración o se requiere llegar a un residual muy pequeño (0.01 mg/l) se aplica ozono en combinación con carbón activado, aunque ello se justifica económicamente sólo si hay presencia simultánea de otros contaminantes.

Trihalometanos

Son compuestos con un solo átomo de carbono donde los hidrógenos son sustituidos total o parcialmente por halógenos, principalmente cloro y bromo (impureza del cloro comercial). Generalmente, los cuatro compuestos formados son: cloroformo (triclorometano), diclorobromometano, dibromoclorometano y bromoformo (tribromometano).

Aun cuando regularmente se encuentran los cuatro, la OMS establece un valor guía para cada uno debido a que sus propiedades toxicológicas son diferentes y recomienda que la norma en cada país se establezca atendiendo a la relación:

$$\frac{C_{\text{bromoformo}}}{VG_{\text{bromoformo}}} + \frac{C_{\text{DBCM}}}{VG_{\text{DBCM}}} + \frac{C_{\text{DBCM}}}{VG_{\text{DBCM}}} + \frac{C_{\text{CLOROFORMO}}}{VG_{\text{CLOROFORMO}}} \leq 1$$

C: concentración

VG: valor guía

En México se limita el valor total a 0.2 mg/l.

Hay tres formas para controlar la presencia de trihalometanos en agua:

a) Remover los precursores de trihalometanos, a través de:

- Coagulación-floculación
- Oxidación química: ozono, dióxido de cloro, ozono en combinación con luz

Ultravioleta

- Adsorción por carbón activado
- Intercambio iónico

b) Remover los trihalometanos después de formados por medio de:

- Oxidación química: ozono, dióxido de cloro, ozono en combinación con luz ultravioleta
 - Aireación
 - Adsorción por carbón activado granular
 - Intercambio iónico
 - Degradación biológica
- c) Usar desinfectantes que no contengan halógenos.

Yodo Residual Libre

El Yodo se encuentra naturalmente en el agua en forma de yoduro, cuya oxidación durante el tratamiento deja trazas del elemento. Se utiliza ocasionalmente para desinfectar agua en campo o situaciones de emergencia. El yodo es un elemento indispensable para la síntesis de las hormonas de la tiroides y se estima que se debe ingerir entre 80 y 150 µg/d; debido a las necesidades de este elemento la OMS no estableció un valor guía para el yodo.

En México se establece un residual de 0.2 a 0.5 mg/l.

Zinc

El Zn entra al agua de consumo por el deterioro de tuberías de hierro galvanizado y por la dezincificación del latón, en tales casos se encuentra además plomo y cadmio, como parte de las impurezas de la

materia prima. El agua de bebida que contiene zinc en concentraciones superiores a 5 mg/l puede no ser aceptada por los consumidores ya que da un sabor astringente y una apariencia opalescente.

Para evitar estos problemas la OMS recomienda no sobrepasar 3 mg/l; en México se limita el contenido a 5 mg/l. El zinc se remueve del agua por precipitación en condiciones alcalinas, los reactivos comúnmente empleados son los hidróxidos metálicos.

La adición de cal es el método más generalizado y funciona a un pH de 10; tiene el inconveniente de que también precipita sulfato de calcio lo que incrementa la cantidad producida de lodos. La clarificación y/o filtración requiere la determinación del valor óptimo de pH para cada tipo de agua y la remoción previa de los sólidos suspendidos.

El intercambio iónico y la recuperación evaporativa se emplean para recuperar el metal.

Características Radiactivas

Los elementos radiactivos o radionúclidos emiten partículas para lograr la estabilidad dentro del núcleo del átomo.

Hay básicamente tres tipos de radiaciones: α (positiva), β (negativa) y γ (sin carga). Los compuestos radioactivos pueden entrar al agua por causas naturales o por fuentes antropogénicas.

Muchos arroyos y pozos recogen la radiactividad al contacto con los minerales que la contienen y después percolan a las aguas subterráneas. Por lo regular, son pocos los casos de niveles alarmantes de radiactividad en el agua de consumo y ello sucede en un número limitado de acuíferos bien identificados.

La contribución del agua potable a la exposición total es muy reducida y se debe, en gran medida, a radionúclidos de origen natural pertenecientes a la serie de degradación del titanio y el torio.

Radionúclido	Dosis, milisievert (mS)
Emisores alfa (0.1Bq/l)	
²¹⁰ Po	0.045
²²⁴ Ra	0.006
²²⁶ Ra	0.016
²³² Th	0.130
²³⁴ U	0.003
²³⁶ U	0.003
²³⁹ Pu	0.04
Emisores beta (1Bq/l)	
⁵⁰ Co	0.005
⁸⁹ Sr	0.003
⁹⁰ Sr	0.02
¹⁹¹ I	0.08
¹³¹ I	0.016
¹³⁴ Cs	0.014
¹³⁷ Cs	0.009
²¹⁰ Pb	0.95
²²⁸ Ra	20

Los valores guías de la OMS son para la radiactividad alfa global de 0.1 Bq/l y para la beta de 1 Bq/l, estos valores en la norma mexicana son de 0.56 y 1.85, respectivamente. La radioactividad se elimina en forma natural en depósitos de almacenamiento.

En caso de tener que controlarla se puede:

- Eliminar el radón mediante absorción en carbón activado granular.
- Ablandar con cal elimina el radio 226 y 228 en un 80 a 90% (pH 9.5 a 11) y el uranio en un 85 a 90 % a pH 10.6 a 11.5.
- Aplicar la coagulación-floculación combinada con sedimentación, para remover del 92 a 95 % de uranio dependiendo del tipo de coagulante.

- Precipitar para remover entre el 85 y 96% de radio 226 y 228 a pH de 9.5 a 11
- Aplicar el intercambio iónico para el radio 226 y el 228 con 80 a 97% de eficiencia en resinas básicas y resinas aniónicas para eliminar del 93 al 97% del uranio.
- La ósmosis inversa elimina el 99% de uranio a pH 7 y la hiperfiltración el 90% de radio 226 y 228 a pH 5.5 a 6.

Ninguno de los procesos anteriores aplica en potabilización, pues normalmente fuentes con problemas radiactivos son poco usuales y no se usan para suministro.



¡Qué suerte!

Tenemos una bendición el agua limpia los ríos, deja de contaminarla o será peor.

*Carlos Fuentes Macías
Novelista y Narrador*

REFERENCIAS

Alarcon H. Teresa (2010) “Desinfección de Agua Residual Municipal por Medio de Radiación Gamma”. XVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Panamá.

Altamirano C.J.M. (2013) “Mejoramiento Mediante Ozono del Proceso de Coagulación-Floculación en un Tratamiento Fisicoquímico para Agua Potable”. Tesis de Maestría, Fac. Ingeniería, DEPFI.

APHA-AWWA-WPCF (2013) “Métodos Normalizados para Análisis de Aguas Potables y Residuales”. Ediciones Díaz Santos, S.A.

Böhme A. (2005) “Ozone Technology of German Industrial Enterprises”. **Ozone Science and Engineering. 21(2) : 163-176.**

Bryant E. A.; Fulton G.P. y Budd G.C. (1992) “Disinfection Alternatives for Safe Drinking Water”. Van Nostrand reinhold, N.Y., USA.

Cáceres L. O. (1990) “Desinfección del Agua”. Ministerio de Salud; Perú, pp 19-340.

Cairns W. L. (1991) “Ultraviolet Disinfection: An Alternative to Chemical Disinfection”. **Trojan Technologies INC. : 1-22.**

EPA Guidance Manual (1999) Alternative Disinfectants and oxidants

Geering, F. (1995) “Optimization of Ozono Plants for Water Works in Switzerland”. **Ozone Science and engineering. 17 (1).**

Gehr R. (1996) “Desinfección con UV y Desinfección con Ozono”. **Conferencia del Instituto de Ingeniería. Ciudad Universitaria.**

Huebner W. (2010) “Desinfección de Aguas de Desecho Humano”, Seminario, Agua de México, Abril, pp, 29- 35, México.

Norma Oficial Mexicana (NOM-001- ECOL-1996) “Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas Residuales y Bienes Nacionales”, Diario Oficial de la Federación, enero 6, 1997, pp 67-81.

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”. Diario Oficial de la Federación, noviembre 30, 1995.

Masschelein, W.J. (2013) "Contacting of Ozone with Water and Contactor Offgas Treatment.". **Handbook of Ozone Technology and Applications**, Vol. 1, edited by R.G.Rice and A. Netzer. Ann Arbor Science Publishers. Inc., Ann Arbor, MI.

Metcalf y Eddy (2003) "Treatment Disposal Reuse". Ed. Mc GrawHill. 3rd edition. 1334 pp.

Metcalf y Eddy (2008) "Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización". Ed. McGrawHill. 3^a edición. Cap.9, Pp. 343-407.

Morris J. J. (2013) "Aspects of the Quantitative Assessment of Germicidal Efficiency". Disinfection: Water and Wastewater, Edited by J. D. Johnson. Ann Arbor Science Publishers, Inc., Ann Arbor, MI, Chapter 1:1.

Trojan Engineering (2013) "Ultraviolet Disinfection System". Design Manual for Consulting Engineers. **Trojan Technologies : 2-15.**

Trojan Technologies, Inc. (2010) "Saneamiento del Valle de México. Propuesta de Desinfección de Aguas Residuales por un Sistema Avanzado de Ultravioleta".

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). (2000) "Design Manual: Municipal Wastewater Disinfection. EPA-625/1-86/021.

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). (2001) "Guidance Manual of Compliance with the Filtration and Disinfection Requirements for Public Water Systems Using Surface Water Supplies".

Vázquez, R. P. (1999) "¿Problemas con el Tratamiento de Aguas? : Prueba con el ozono, Tesis, Fac. Química, UNAM, 1996.

Ward, N.R. y Wolfe R.L. " Effect to pH Application Technique and Chlorine- to Nitrogen Ratio on Disinfectant Activity of Inorganic Chloramines with Pure Culture Bacteria" **Applied Environmental Microbiology. 33 : 860-864.**

Watts, C.D. (2010) "Organic By-Products of Ozonation of Humic and Fulvic Acids". Proc. Intl. Conf. on the Role of Ozone in Water and Wastewater Treatment, edited by N.J.D. Graham.Ellis Horwood Ltd., Chischester,U.K.

WEF (2011) "Wastewater Disinfection". Water Environment Federation. Manual of Practice. FD-10 : **227-291.**

Wolfgang G. "Electrochemical Treatment of Industrial Wastewater". **25 (7) : 34-37.**

World Bank (2013) "World Development Report 1992", Oxford University Press,

New York.

World Commission on Environment and Development (1982) "Our Common Future". Oxford University Press, Oxford.

Wurrman K. y Meyrath J. (2011) "The Bactericidal Action of Ozone Solution". Schwietz J. Allgen. Pathol. Bakteriologie. 18 : 1060.

Cairns W. L. (2010) "Ultraviolet Disinfection: An Alternative to Chemical Disinfection". **Trojan Technologies INC. : 1-22.**

Carnimeo D., Contini E., Di Marino R., Donadio F., Liberti L. y Ranieri E. (2010) "Wastewater Disinfection by UV at Trani Municipal Plant". **Water Science and Technology 30 (4) : 125-132.**

Chang ,S.D. y Singer, P.C. (2013) "The Impact of Ozonation on the Removal of Particles, TC, and THM Precursors". Proc. AWWA Ann. Conf., Orlando, Fla., pp. 1325-1342.

Hoigné J. y Bader H. (2009) "Ozone Initiated Oxidations of Solutes in Wastewater: A Reaction Kinetic Approach". **Prog. Water Technology. 10:657.**

Hoigné J. y Bader H. (2011) "Ozonation of Water: Selectivity and Rate of Oxidation of Solutes". Proc. 3rd IOA Congress, Paris, France.

Hoigné J. (2013) "Chemistry of Aqueous Ozone and Transformation of Pollutants by Ozonation and Advanced Oxidation Processes". The handbook of Environmental Chemistry. Vol. 5 Part C Quality and Treatment of Drinking Water II, Edited by J. Hrubec. Springer- Verlag Berlin Heidelberg.

MANUAL CL2.- Grupo C.Y.D.S.A.

MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS.- Departamento de Sanidad Del Estado de Nueva York.

Masschelein, W.J. (2009) "Contacting of Ozone with Water and Contactor Offgas Treatment.". **Handbook of Ozone Technology and Applications**, Vol. 1, edited by R.G. Rice and A. Netzer. Ann Arbor Science Publishers. Inc., Ann Arbor, MI.

Metcalf y Eddy (2011) "Treatment Disposal Reuse". Ed. Mc GrawHill. 3rd edition. 1334 pp.

SECRETARÍA DE GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA

Ing. Jorge Gastón González Alcérreca
Secretario de Gestión Integral del Agua
Calle Brasilia #2970, Colomos Providencia
Tel: 3330309350 Ext. 8301
E-mail: gaston.gonzalez@jalisco.gob.mx

CEAJ

Ing. Carlos Vicente Aguirre Paczka
Director General de la CEAJ
Av. Francia #1726. Col. Moderna
Tel: 3330309200 ext. 8294
E-mail: carlos.aguirre@ceajalisco.gob.mx

Ocean. J. Trinidad Martínez Sahagún
Director de Saneamiento y Operación de Plantas de Tratamiento
Av. Francia #1726
Tel: 3330309200 Ext. 8298
E-mail: trinidad.martinez@ceajalisco.gob.mx

Abg. Yecenia Hernández Hernández
Subdirector de Vinculación Municipal
Av. Francia #1726, Colonia Moderna
Tel: 3330309200 ext. 8126
E-mail: yhernandez@ceajalisco.gob.mx

Biol. Ernesto Martín González Padilla
Jefe de Potabilización
Francia No. 1726, Colonia Moderna
Tel: 3330309200 ext. 8257
E-mail: egonzalezp@ceajalisco.gob.mx

CONAGUA

Director General del Organismo de Cuenca Lerma-Santiago-Pacífico
Av. Federalismo #275 Tel: 38256678, 38273255

© **COMISIÓN ESTATAL DEL AGUA DE JALISCO**