



Universidad
Politécnica
de Cartagena

ABASTECIMIENTO DE AGUAS

TEMA 10
Desinfección

Francisco Javier
Pérez de la Cruz

Mario Andrés
Urrea Mallebrera

INTRODUCCIÓN

La desinfección del agua tiene por finalidad la destrucción o inactivación de los microorganismos perjudiciales, patógenos o simplemente molestos que no han sido eliminados en las fases previas del tratamiento del agua.

La desinfección no implica necesariamente la destrucción de todos los organismos vivos (proceso denominado esterilización).

Los factores principales que influyen en la eficacia del proceso de desinfección son los siguientes:

- 1) Tipo y concentración de los microorganismos que deben destruirse → Los microorganismos patógenos existentes en el agua se pueden dividir en tres categorías:
 - Bacterias
 - Virus
 - Protozoos



2) Tipo y concentración del desinfectante y tiempo de contacto → La destrucción de un microorganismo por un determinado desinfectante (siempre que los demás factores sean constantes) es proporcional a la concentración del mismo y al tiempo de reacción (tiempo de contacto).

Una concentración baja de desinfectante durante tiempos de contacto largos puede ser suficiente, mientras que si dichos tiempos son más cortos la concentración del desinfectante deberá elevarse para lograr un índice de destrucción semejante

3) Características físico - químicas del agua a tratar → Destacando:

- Si existe mucha materia en suspensión los organismos pueden ser inaccesibles al desinfectante.
- Si el desinfectante es un oxidante, la presencia de materia susceptible de ser oxidada disminuirá la cantidad de desinfectante disponible para destruir a los microorganismos.
- El *pH* del agua influye en las reacciones de algunos desinfectantes con el agua, transformándolos en compuestos con muy baja o nula actividad germicida.

- La temperatura ejerce una marcada influencia sobre el proceso de desinfección. Cuanto más alta sea, más elevado es el índice de destrucción microbiana, sin embargo este efecto se contrarresta en parte por la mayor inestabilidad de los desinfectantes a altas temperaturas

La selección de los diferentes desinfectantes se realiza en función de determinados parámetros, como son:

- 1) Capacidad para destruir patógenos
- 2) Posibilidad de seguimiento preciso
- 3) Actuación sobre caracteres organolépticos (color, sabor, olor...)
- 4) Facilidad de uso
- 5) Precio

Los compuestos más utilizados para la desinfección de las aguas de consumo humano son el cloro (hipoclorito sódico o cálcico), dióxido de cloro, ozono, permanganato potásico, radiaciones UV, agua oxigenada y cloraminas (cloro + amoniacó).

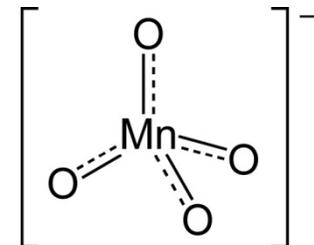
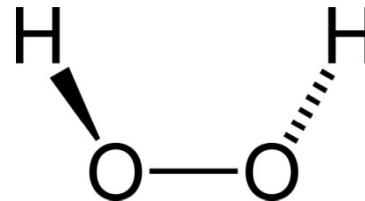
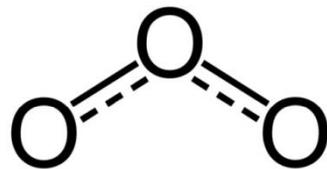
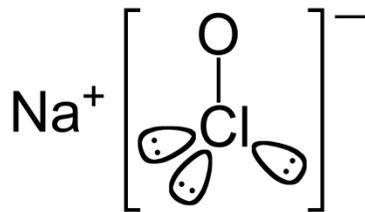
PREOXIDACIÓN

La preoxidación es un proceso mediante el cual se introduce en el agua un agente químico oxidante que reacciona con la materia orgánica e inorgánica que contiene ésta y que es susceptible de eliminación o modificación mediante la oxidación.

Los reactivos más empleados suelen ser el cloro (Cl_2) y sus derivados, principalmente el hipoclorito sódico (NaClO).

Además, se suele utilizar también el ozono (O_3), el permanganato potásico (KMnO_4) y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2).

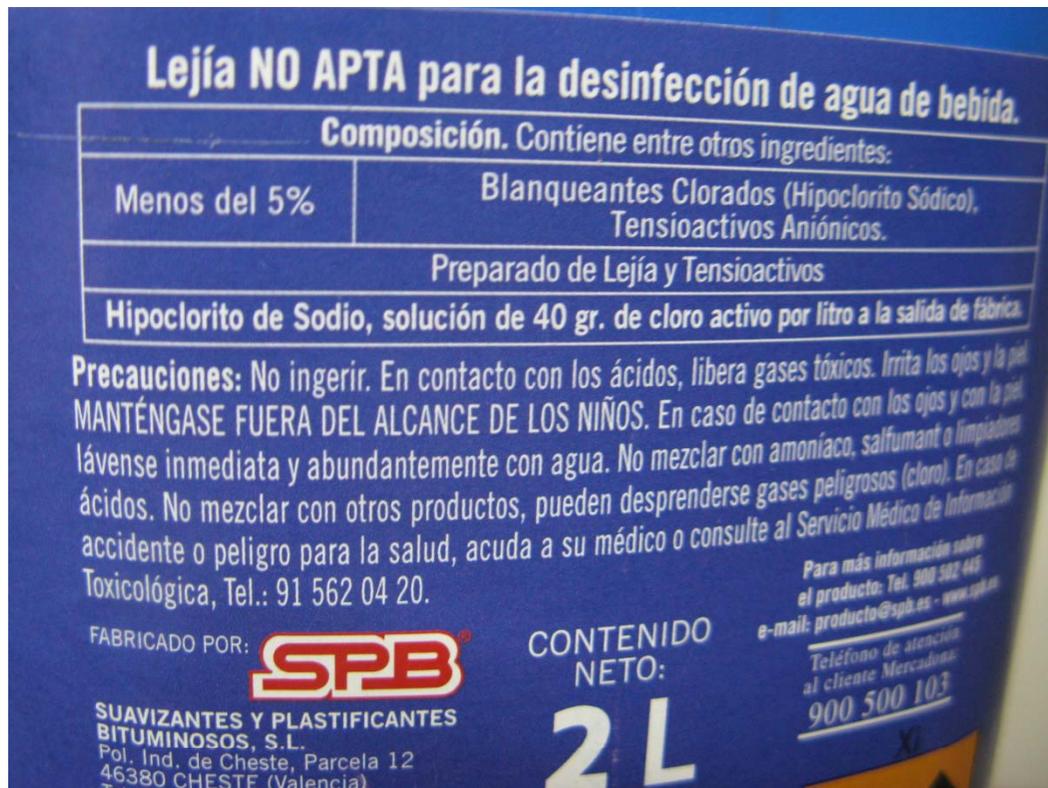
La preoxidación se realiza a la entrada de la planta de tratamiento, con el fin de hacer efectiva la desinfección previa y que los equipos y las conducciones no resulten contaminados (legionella).



EJEMPLO

Lejía (hipoclorito de sodio)

Agua oxigenada (peróxido de hidrógeno)



La preoxidación facilita tratamientos posteriores e interrumpe desarrollos bacteriológicos tanto en conducciones como en equipos.

1) Efectos de la preoxidación:

- Disminución del contenido de materia orgánica
- Reducción del desarrollo del plancton (evitando obstrucción de tuberías)
- Destrucción de las bacterias ferruginosas que pueden atacar el hierro en las tuberías metálicas
- Precipitación de los óxidos de Fe y Mn
- Oxida el amoniacó dando cloraminas y los nitritos obteniendo nitratos

2) Inconvenientes de la preoxidación:

- Reacción del cloro con algunas sustancias orgánicas puede originar compuestos tóxicos. Esto se puede evitar empleando ozono

Regulación del pH

Posteriormente a la realización de la preoxidación se puede realizar el proceso de regulación del pH , añadiendo un ácido al agua bruta (sulfúrico o clorhídrico) con el fin de mantenerlo entre unos valores de 5 y 6.

El producto más empleado es el ácido sulfúrico (H_2SO_4) diluido al 65% debido a su menor coste y a su mejor comportamiento.

Objetivos de la regulación del pH → Los principales son:

- 1) Evitar la precipitación de $CaCO_3$ reduciendo el pH del agua, con lo que conseguimos valores negativos del índice de Langelier
- 2) Impedir la precipitación de los óxidos metálicos

Precauciones → Dada la peligrosidad de los compuestos empleados es necesario disponer un recipiente convenientemente preparado y con una ventilación adecuada que impida la acumulación de gases tóxicos.

Hay que tener en cuenta que en el punto de adición se produce una elevación de la temperatura del agua.

EJEMPLO

ETAP Cerro de los Palos (Toledo)

La ETAP Cerro de los Palos abastece de agua potable a la ciudad de Toledo y capta las aguas brutas desde los embalses de Guarajaz (17 hm³) y El Torcón (5 hm³), impulsando el agua bruta hasta los depósitos de Argés desde donde se conducen por gravedad hasta la obra de entrada de la ETAP.



Vista del embalse de Guajaraz, con torre de toma para la captación de agua bruta



Estación de Bombeo de agua bruta hacia la ETAP

EJEMPLO

ETAP Cerro de los Palos (Toledo)



*Canal de entrada en la ETAP con
rejilla de desbaste manual*



*Compuerta tajadera para
aislamiento del pretratamiento*

EJEMPLO

ETAP Cerro de los Palos (Toledo)

Inicialmente el tratamiento constaba de una preoxidación mediante permanganato potásico ($KMnO_4$) pero debido a los problemas de olores y sabores del agua se sustituyó el $KMnO_4$ por O_3 intentando mejorar el rendimiento del proceso.

La existencia de microalgas en el agua bruta, llevó a implementar una adición de $KMnO_4$ en las impulsiones de agua bruta, que se usa ocasionalmente.



Depósito de mezcla y dosificación de permanganato fuera de servicio



Preoxidación opcional con permanganato

EJEMPLO

ETAP Cerro de los Palos (Toledo)



Almacenamiento de oxígeno líquido para generación de ozono



Generador de ozono para preoxidación del agua bruta

EJEMPLO

ETAP Cerro de los Palos (Toledo)



Conductos de ozono hacia las cámaras de preoxidación



Eliminador de ozono residual sobre las cámaras de ozonización

CLORO

El cloro es un elemento químico que, en condiciones normales de presión y temperatura, se presenta en forma de gas tóxico amarillo verdoso, con un olor penetrante característico.

El cloro es transportado como un gas comprimido en estado líquido, para ello se utilizan recipientes a presión debidamente certificados para este fin.



Cilindros para el transporte de cloro



El cloro fue descubierto en su forma diatómica en 1774 por el sueco Carl Wilhem Scheele, al mezclar óxido de manganeso con clorhídrico.

En 1810 el químico inglés Humphry Davy lo identificó como elemento químico, denominándole cloro por su color característico (del griego, *chloros*, verde pálido).

En la naturaleza no se encuentra libre, pero combinado está muy extendido. Industrialmente se obtiene por electrolisis del cloruro de sodio o de potasio

El cloro tiene un gran poder germicida, interviniendo en la oxidación de sustancias inorgánicas (sulfuros, compuestos de hierro y manganeso) y orgánicas, que comunican olor o sabor al agua.

Como principal inconveniente presenta la formación de trihalometanos.

La cloración de los abastecimientos públicos del agua representa el proceso más importante usado en la obtención de agua de calidad sanitaria adecuada.



Carl Wilhem Scheele
(1742 - 1786)

Química de la cloración

El poder desinfectante del cloro y sus compuestos radica en su capacidad de oxidación.

En presencia de agua el cloro, bien sea en forma gaseosa (Cl_2) o como hipoclorito (NaOCl), reacciona para dar ácido hipocloroso (HOCl) mediante un proceso de hidrólisis que dura unos pocos segundos a 0° , realizándose de forma casi instantánea a 18°C .

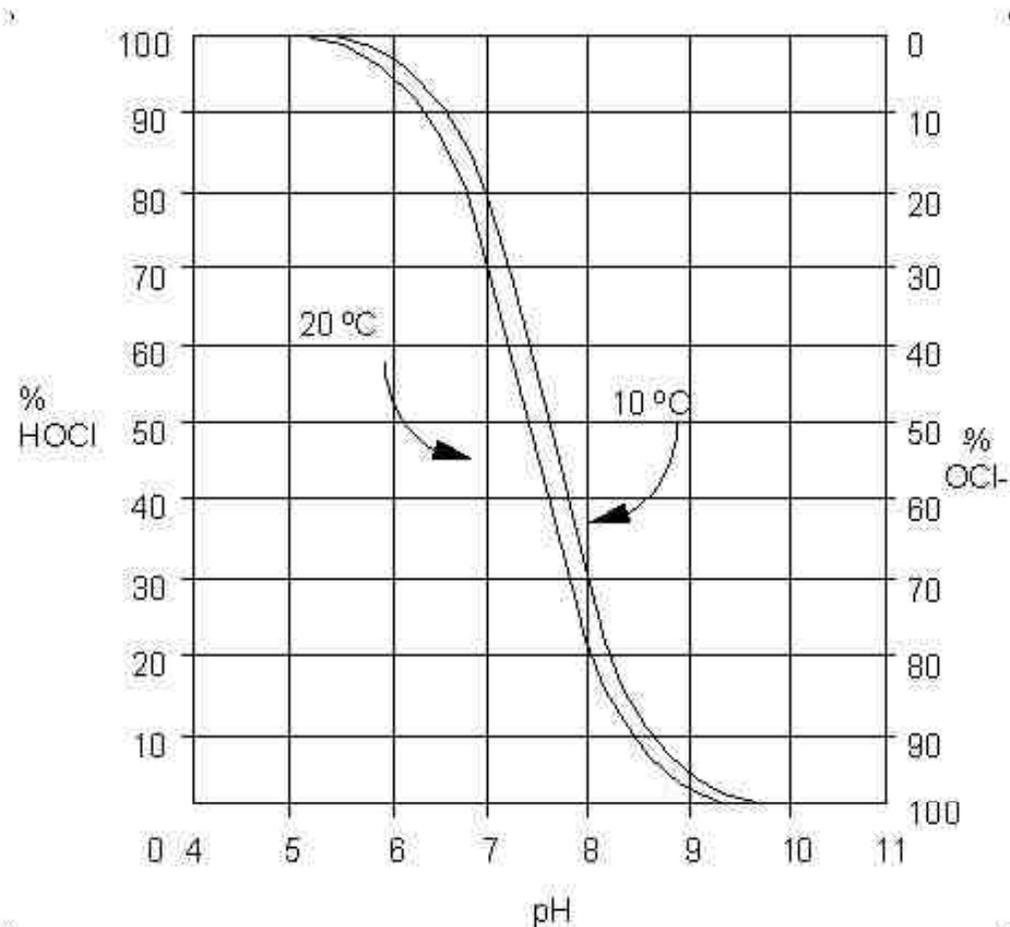
El ácido hipocloroso es, después del dióxido de cloro, el más germicida de todos los compuestos del cloro y la forma con mayor potencial de oxidación - reducción.



Con un $pH < 5$ todo el cloro está en forma de ácido hipocloroso ($HOCl$), pero a medida que el pH aumenta éste ácido se disocia en ClO^- y H^+ .

Cuando el $pH > 7,5$ y a una temperatura de $20^{\circ}C$ (o $pH > 7,8$ con una temperatura de $0^{\circ}C$) empiezan a predominar los iones hipoclorito (OCl^-) y estos existen casi exclusivamente a partir de pH 9,5.

De esta forma, el cloro puede estar en el agua como cloro libre disuelto, como ácido hipocloroso o como ión hipoclorito. Estas formas de cloro se denominan “cloro libre activo”.



Formas del cloro en función del pH y la T° (Hernández, 2001)

Reacciones del cloro

En el agua, el cloro reacciona rápidamente con las sustancias inorgánicas presentes en el agua (cationes y aniones minerales) y algo más lentamente con las sustancias orgánicas susceptibles de ser oxidadas.

Cuanto mayor sea la concentración de estas sustancias más cantidad de desinfectante será necesaria.

Las reacciones del cloro con compuestos inorgánicos del nitrógeno (como el amoníaco) tienen gran importancia en los procesos de cloración, ya que el amoníaco reacciona con el HOCl para formar cloraminas, que al igual que el HOCl tienen poder oxidante.

Las cloraminas (en sus diferentes formas) se conocen como “cloro libre combinado”.

El cloro en forma de cloraminas puede considerarse como una reserva de cloro que se libera lentamente en función del déficit de HOCl en la primera parte de las reacciones.

Para que la desinfección sea efectiva es necesario que exista un contacto íntimo entre el desinfectante y los microorganismos. Si los microorganismos están asociados a materia particulada, el contacto se dificulta, teniendo gran importancia el tamaño de la partícula en este proceso de asociación.

La eficacia de la desinfección puede aumentarse bien aumentando la concentración del desinfectante o bien aumentando el tiempo de contacto. El tiempo mínimo de contacto suele ser de 30 minutos para asegurar la correcta desinfección de un agua común.

En resumen, la eficacia de la desinfección con cloro depende de:

- *pH*
- *Temperatura*
- *Presencia de partículas en suspensión*
- *Composición química del agua*
- *Concentración del desinfectante*
- *Tiempo de contacto*

Tipos de cloración

Según el momento en el que se aplique la cloración ésta se denomina:

- 1) Cloración previa (Precloración) → Consiste en añadir el cloro a la entrada de la planta de tratamiento y por tanto antes de la filtración.

El inconveniente es que en ese punto la demanda de cloro es mayor y además se pueden formar productos indeseables derivados del cloro, mientras que tiene la ventaja de que favorece la coagulación, se eliminan sustancias inorgánicas, algas y los microorganismos formadores de limo en los filtros de arena.

- 2) Cloración subsiguiente (Postcloración) → Cuando se añade el cloro después de la filtración.

En la práctica suele realizarse únicamente la cloración subsiguiente cuando las aguas están muy poco contaminadas y no requieren otro tipo de tratamientos.

Lo común en plantas de tratamiento es que se realicen ambos procesos (precloración y postcloración).

Según la cantidad de cloro utilizada se puede clorar de las siguientes formas:

- 1) Cloración simple → Consiste en añadir la dosis necesaria de cloro que permita conseguir concentraciones de cloro residual de 0,1 a 0,2 ppm después de 10 minutos de contacto sin diferenciar entre cloro libre o combinado.

No suele ser un buen método de desinfección de aguas y únicamente es aconsejable en aguas muy poco contaminadas.

- 2) Tratamiento con cloro y amoniac → Consiste en la adición de amoniac junto con el cloro con el objeto de que se formen cloraminas, que tienen mayor estabilidad en el agua que el cloro residual libre aunque su capacidad de desinfección es menor.
- 3) Hipercloración → Consiste en la adición de cantidades de cloro muy superiores a la demanda de cloro del agua, por lo que tras el tiempo de contacto que permita la desinfección hay que eliminar el exceso de cloro residual (decloración).

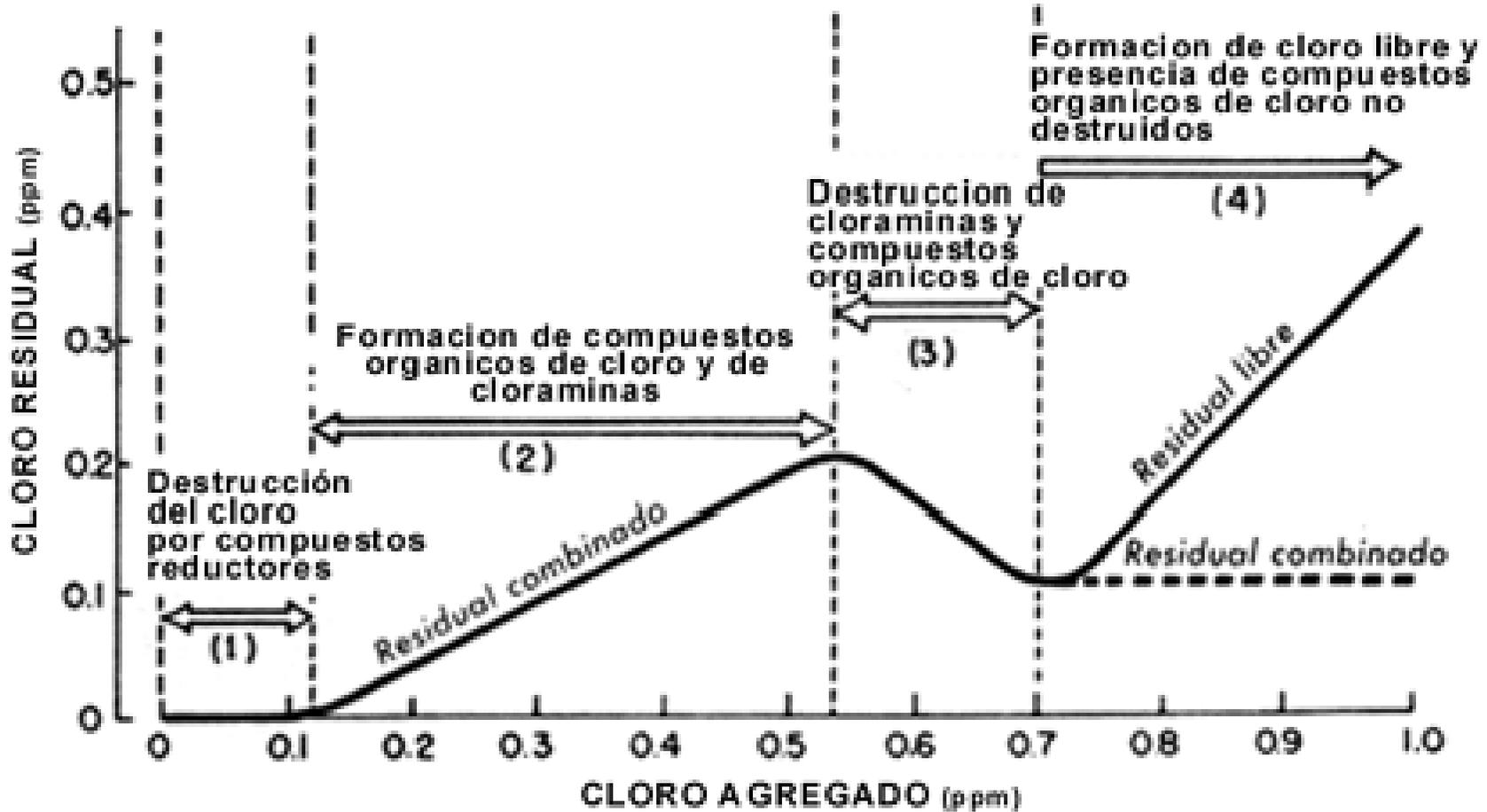
El proceso es muy caro por el gasto extraordinario de cloro y del agente utilizado para declorar

- 4) Cloración al punto de ruptura (break-point) → La cloración “*al punto de ruptura*” (también llamado “*punto crítico*” o desinfección con cloro sobrante) consiste en añadir el cloro con la dosis necesaria para que oxide todas las sustancias químicas presentes en el agua y quede al final una cierta cantidad de cloro residual libre (CRL) necesaria para para completar la oxidación de los compuestos difíciles de degradar y para prevenir cualquier contaminación posterior en depósitos de almacenamiento o red de distribución.

Dosis de precloracion: 1 - 20 mg/lts

Dosis postcloracion: 0.2 - 1 mg/lts

La gráfica que observamos en la página siguiente se denomina *Curva de Demanda de Cloro* (o *curva break-point*) y representa lo que le ocurre al cloro que se añade a un agua que contiene una cierta cantidad de sustancias inorgánicas, amoniacó y sustancias orgánicas con las que reacciona

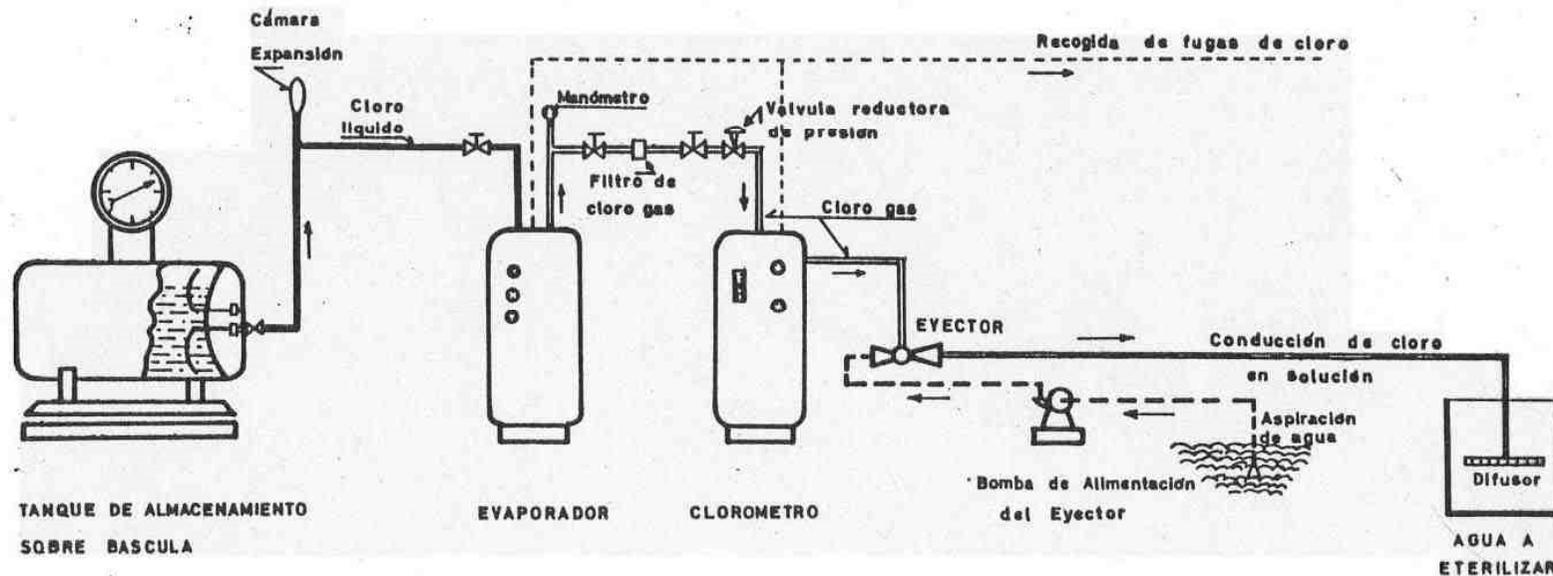


Curva de demanda de cloro (Hernández, 2001)

Instalaciones para la cloración

El equipo debe instalarse en una habitación apartada, bien cerrada y ventilada debido a la toxicidad del cloro (40 a 60 mg/m³ de aire son mortales) y a que pueden producirse escapes.

La habitación debe contar con un sistema de alarma que detecte la existencia de fugas, y ponga en funcionamiento unos aspiradores que conduzcan al aire con cloro hasta una instalación de absorción que destruya el cloro.



EJEMPLO

Almacén de cloro



EJEMPLO

Evaporadores de cloro



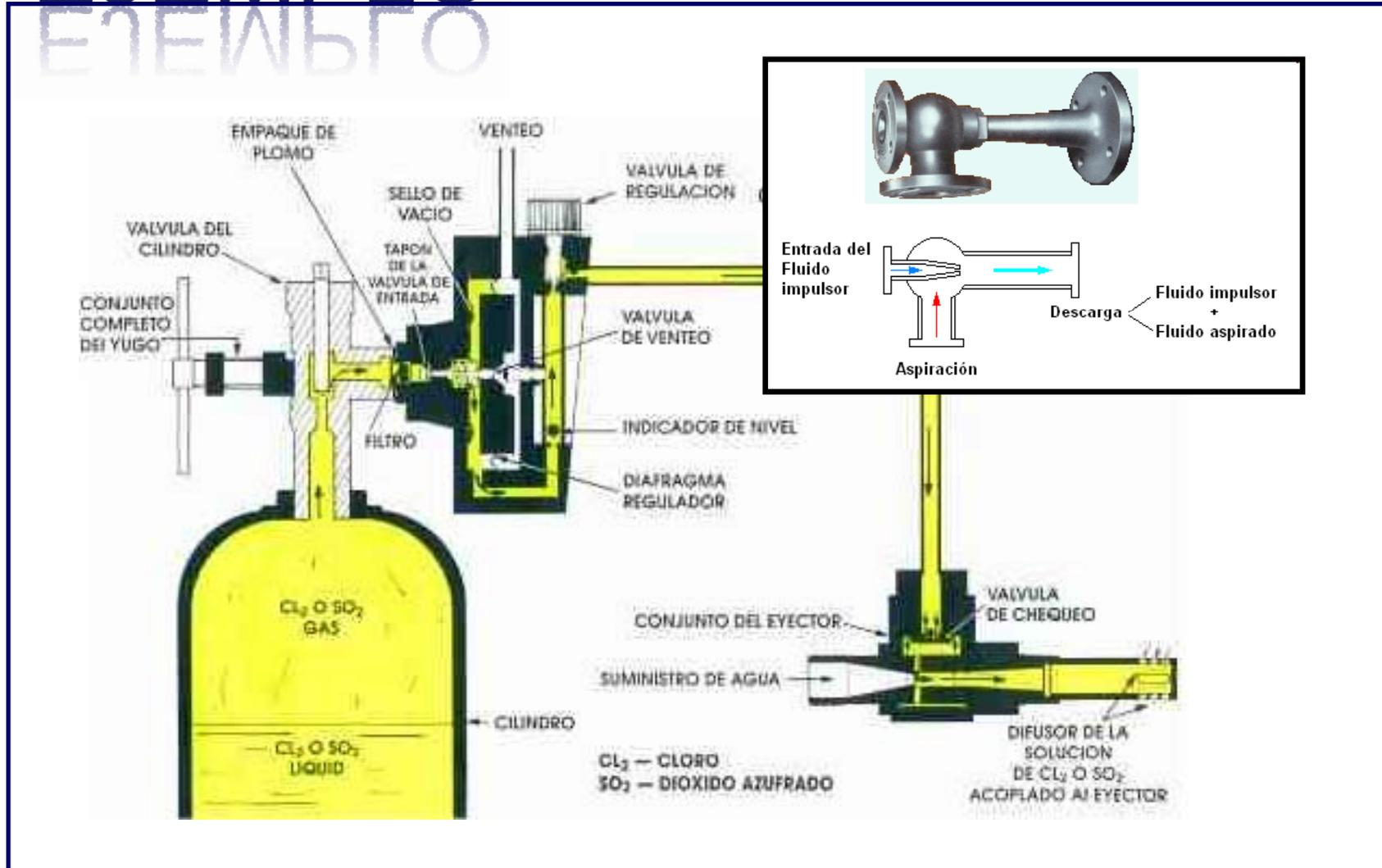
EJEMPLO

Medidores de cloro (clorómetros)



EJEMPLO

Eyector para cloración



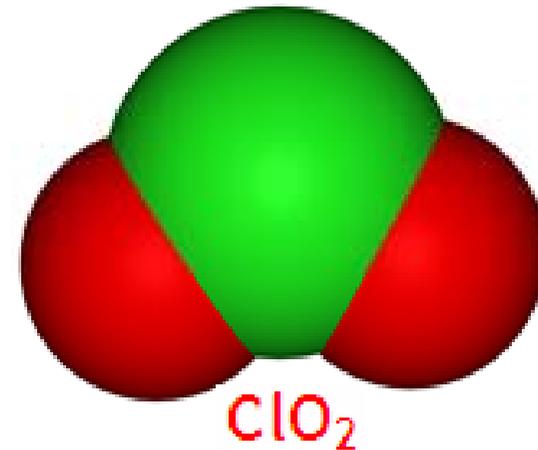
DIÓXIDO DE CLORO

El dióxido de cloro (ClO_2) es un gas de color verde amarillento, estable y sumamente soluble en agua.

Una de sus propiedades más interesantes es su eficacia biocida en un amplio rango de pH (de 3 a 10). Además, el dióxido de cloro mejora la calidad del agua potable oxidando el hierro y el manganeso y neutralizando olores y colores.

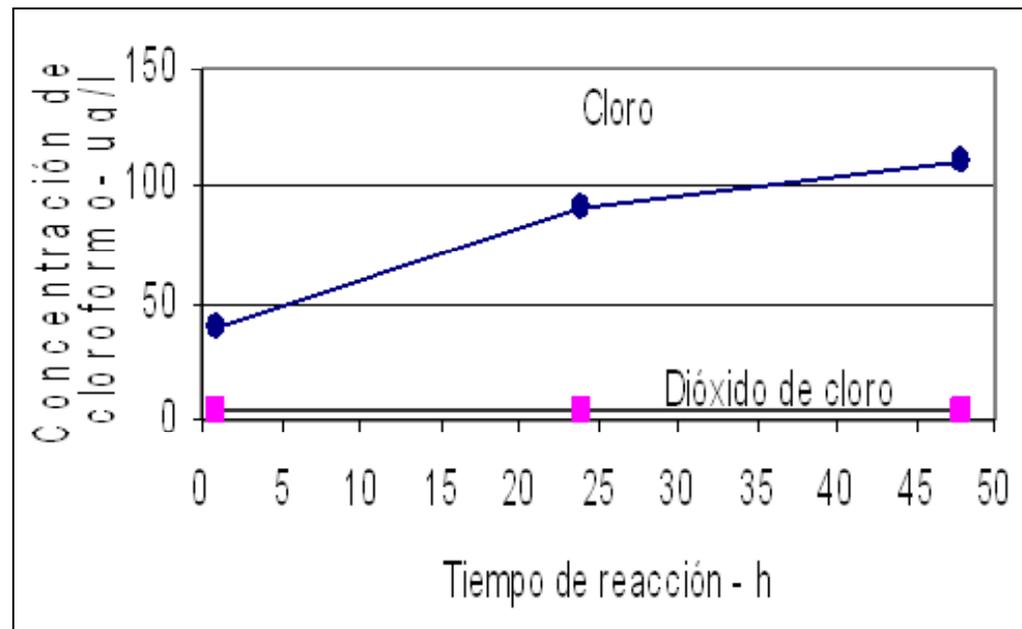
El proceso genera una cierta desinfección residual pero la capacidad de desinfección que posee el dióxido de cloro residual en los sistemas de distribución es escasa.

El ClO_2 debe generarse *in situ*, lo que supone un mayor coste que el cloro, y su producción y manejo entraña cierta complejidad y riesgo (peligro de explosión), de ahí que se indique para sistemas de desinfección medianos o grandes (escasa popularidad en países en vías de desarrollo).



La dosis a utilizar es de 0.1 - 0.3 mg/l. Tiene un mayor poder bactericida que el cloro (con menos dosis unitarias), aunque similar al ozono.

Una característica fundamental del uso de dióxido de cloro es la disminución de la formación de trihalometanos (THM) en el agua tratada, ya que el ClO_2 no es reactivo frente a la materia orgánica.



Comparación en la formación de THL por tratamientos de cloro y dióxido de cloro

Generación del dióxido de cloro

El dióxido de cloro se genera mediante dos mecanismos:

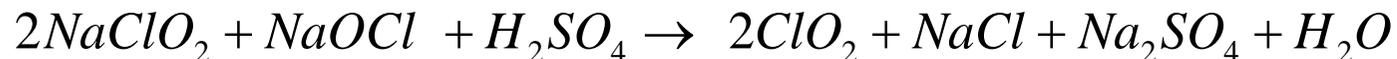
- 1) Sistema de dos compuestos químicos → Como es la reacción de clorito de sodio (NaClO_2) con cloro gaseoso (Cl_2) o con ácido clorhídrico (HCl).

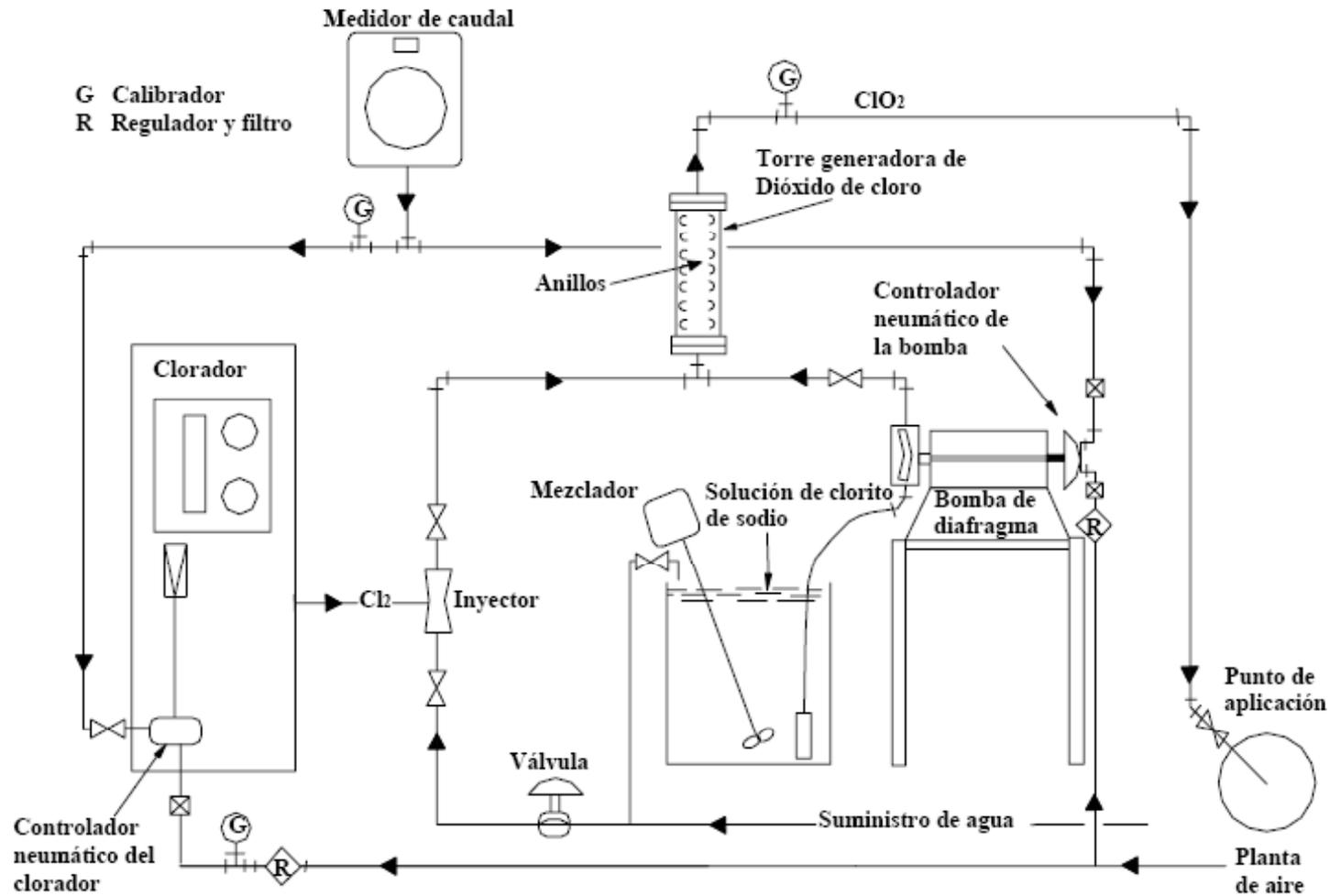


más usado a nivel industrial

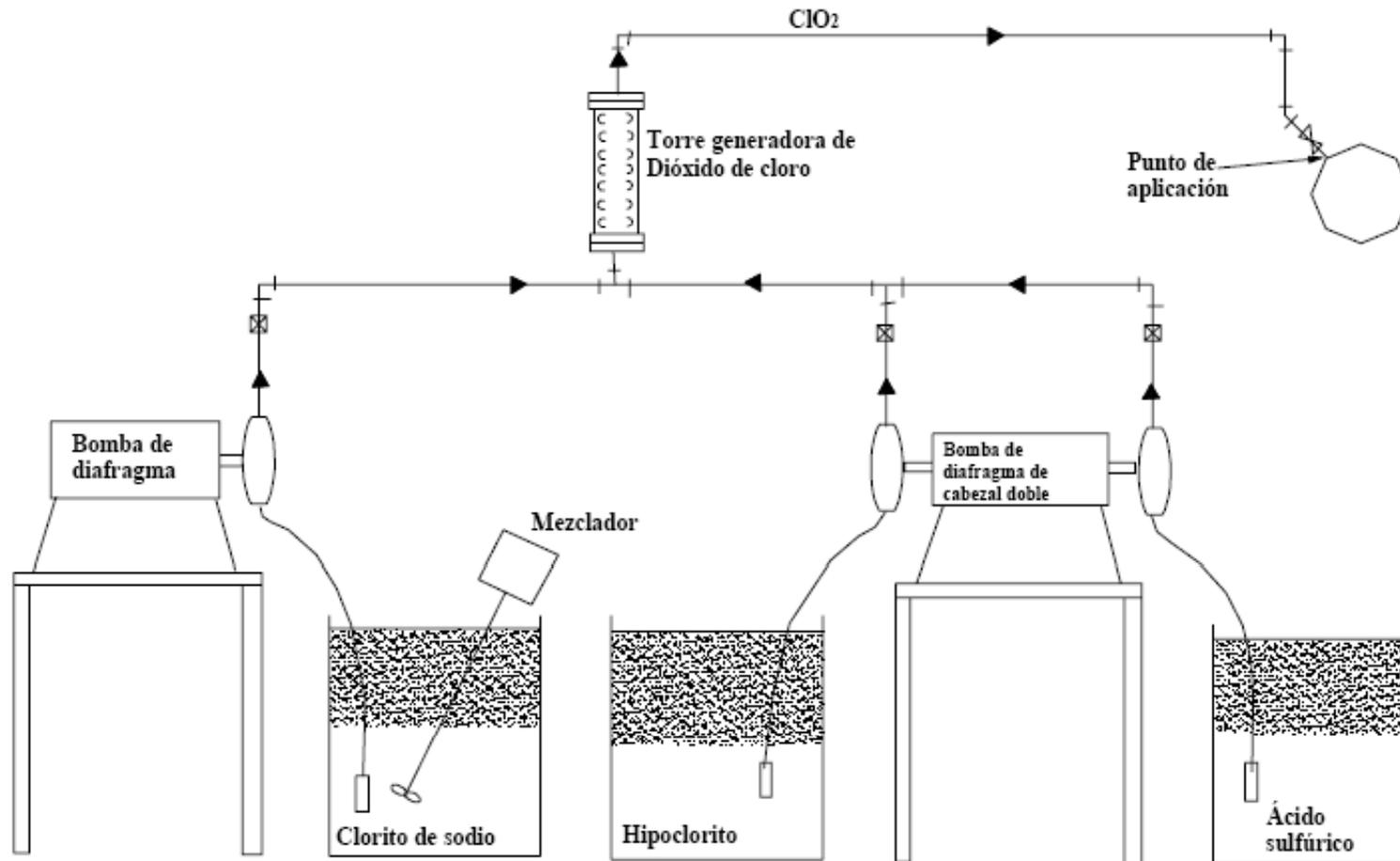


- 2) Sistema de tres compuestos químicos → La reacción de clorito de sodio (NaClO_2) con hipoclorito de sodio (NaOCl) y ácido sulfúrico (H_2SO_4) (indicada para poblaciones intermedias).





Generador de dióxido de cloro con un sistema de dos componentes



Generador de dióxido de cloro con un sistema de tres componentes

EJEMPLO

Dosificadores de dióxido de cloro



Sistema Chloridos™ Advance



Capital Controls™ T70GS4000

OZONO

El ozono (O_3) es una forma alotrópica del oxígeno elemental.

Es un gas ligeramente azulado, de olor picante característico e inestable.



Martin Van Marum
(1750 - 1837)

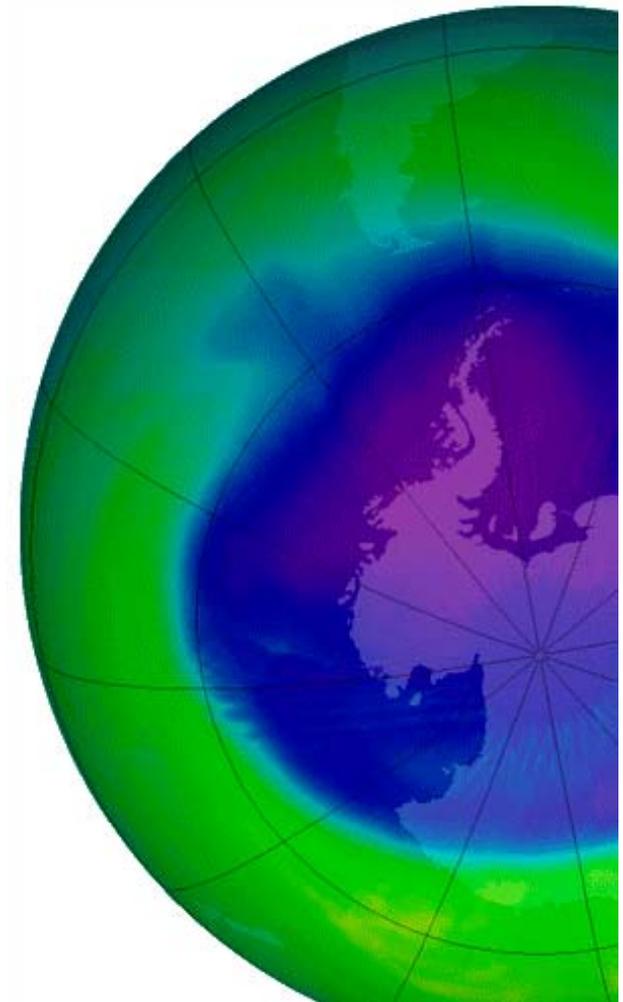
Fue descubierto en 1783 por el científico holandés Van Marum, mientras sometía diferentes gases a intensas descargas eléctricas generadas con una máquina electrostática, sin embargo, fue Schönbein quien en 1840 y tras repetir los experimentos del holandés, le dio el nombre de “ozono” (del griego “ozein” que significa oler) y describió por primera vez sus principales propiedades químicas.

El ozono se encuentra de forma natural a un altura de 20 – 25 km, en las zonas bajas de la estratosfera (ozonósfera o ionósfera) protegiendo la biosfera de los rayos UV. También se puede encontrar en la biosfera como componente natural del aire.

Como hemos mencionado, el ozono es un gas inestable que se descompone rápidamente para volver a la molécula de oxígeno (O_2). Debido a ello, no se puede almacenar o envasar, sino que debe generarse in situ y usarse inmediatamente.

Entre las ventajas de uso destacan:

- Su eficacia en una gama muy amplia de temperaturas y *pH*.
- Tiene un elevado poder oxidante que permite eliminar los compuestos orgánicos que dan color, sabor u olor al agua, así como los microorganismos patógenos.
- Su acción sobre quistes de protozoos y bacterias es rápida (de 300 a 3.000 veces más que la del cloro).
- La sobredosificación no produce efectos perjudiciales.
- No produce apenas trihalometanos.



Por otra parte, presenta ciertos inconvenientes:

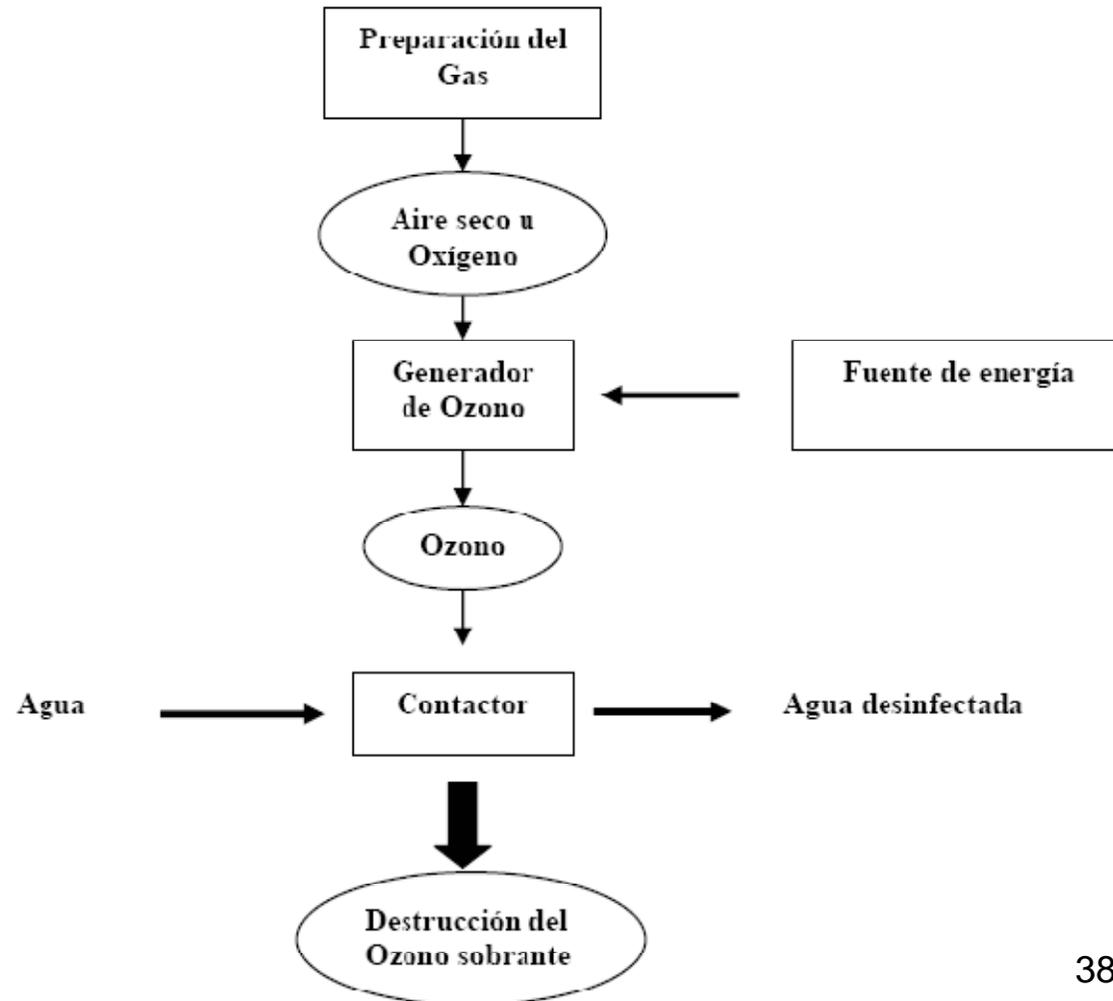
- No produce desinfección residual duradera.
- Las exigencias de energía eléctrica y los costes de primera instalación son elevados.
- La mezcla de ozono - aire que se genera *in situ* es tan sólo ligeramente soluble en agua y la producción se complica cuando la temperatura y la humedad son elevadas.
- El proceso es menos flexible que la cloración en lo que respecta a los ajustes de la velocidad de flujo y variaciones de la calidad del agua.
- No se han estudiado suficientemente los efectos sobre la salud de los subproductos de la ozonización.
- Es corrosivo.
- Posee una vida media muy corta

La dosis media a utilizar de ozono en el proceso de desinfección de aguas está entre 0.1 y 0.3 mg/lts.

Generación del ozono

Los sistemas de ozonización constan de cinco componentes básicos: la unidad de preparación de gas (que puede ser tanto aire u oxígeno puro); el generador de ozono, la fuente de energía eléctrica, el tanque de contacto (contactor) y la unidad para la eliminación del gas sobrante.

En muchos casos, además de ozono se añade un desinfectante secundario para asegurar un residual duradero en el sistema de distribución.

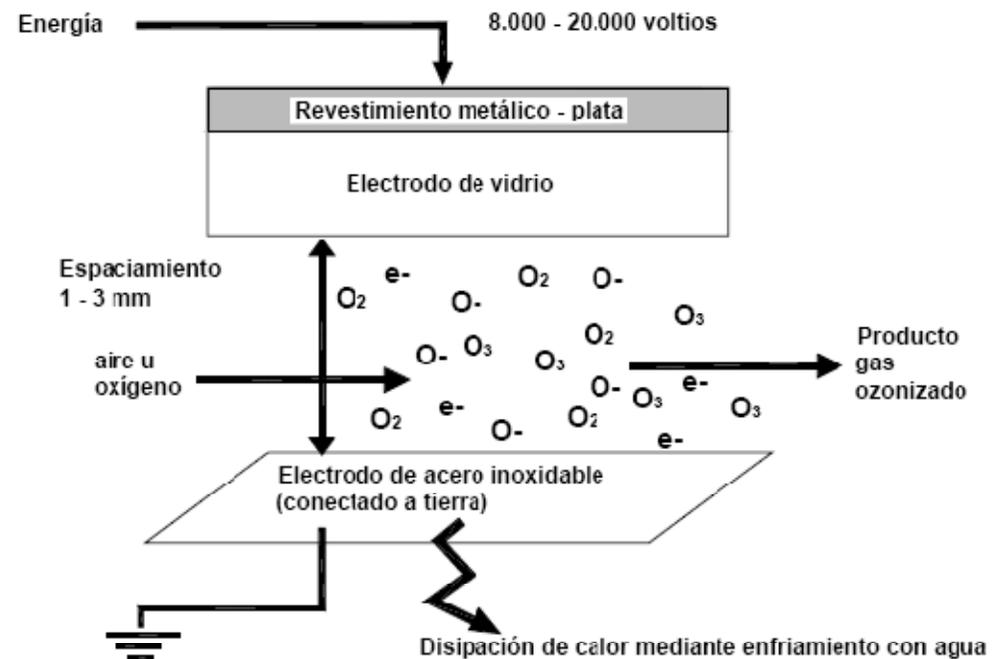


Para la obtención del ozono podemos partir de:

- 1) Aire (O_2 del aire) → Requiere un mayor coste de inversión, un menor coste de explotación y un coste energético de 14 - 18 kWh/kg.
- 2) Oxígeno industrial → Requiere un menor coste de inversión, un mayor coste de explotación y un coste energético de 5 - 6 kWh/kg.

Posteriormente, en el *generador de ozono*, se produce la generación por medio de una descarga producida entre dos dieléctricos, a través de las cuales pasa oxígeno o aire seco.

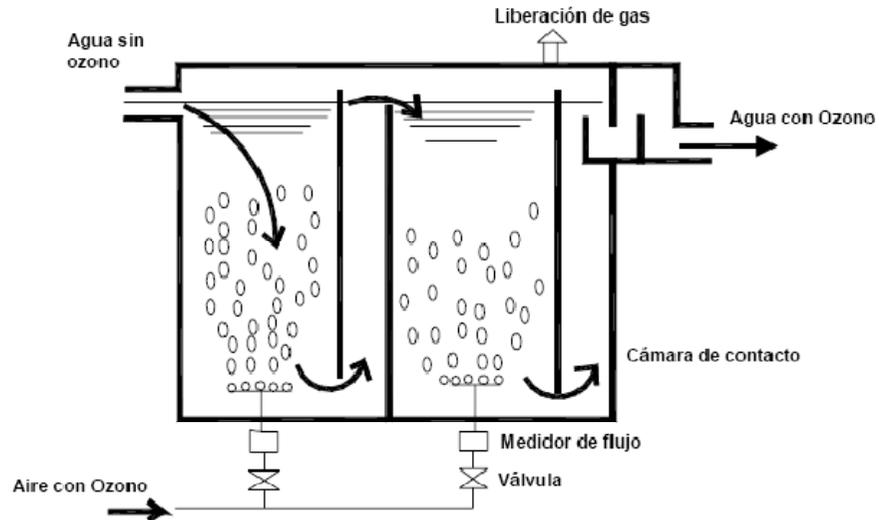
Los generadores pueden ser de tubo horizontal (usos industriales), placa de Otto (más antiguo y menos eficaz) y placa de Lowther (sistemas pequeños que requieren poca energía).



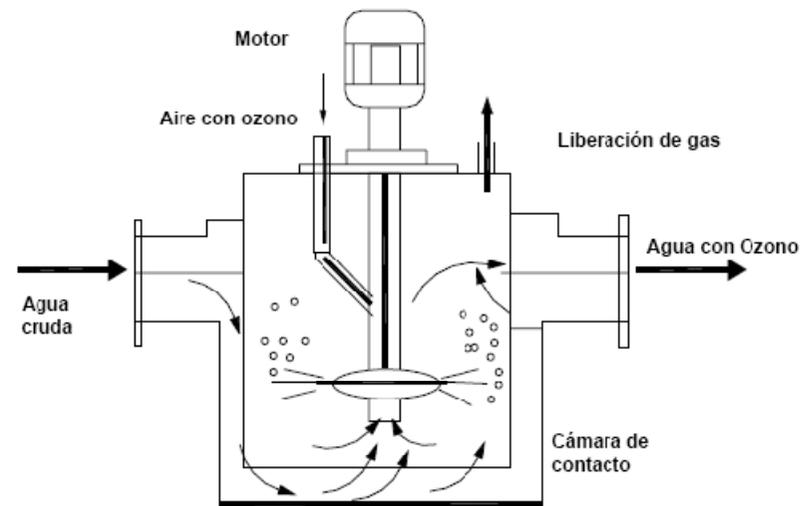
El tanque de contacto tiene que ser de acero inoxidable o de otro material que no se corra por la acción del ozono.

Los diseños básicos de tanques de contacto son las cámaras con difusores de burbujas (en serie con deflectores o en paralelo) y el reactor agitado por turbina.

En los contactores la circulación del agua puede ser a contracorriente (de arriba hacia abajo) o por corrientes paralelas (de abajo hacia arriba).



Tanque de contacto de cámara con deflectores



Tanque de contacto con difusor de turbina

Dado el poder oxidante del ozono el tiempo de contacto necesario para desinfectar es menor que el necesario en el caso del cloro (normalmente con 10 o 20 minutos es suficiente).

Los gases provenientes de los tanques de contacto contienen cantidades de ozono que no han reaccionado (valor normal del 10%) y que se deben destruir o diluir suficientemente por razones de seguridad.

En las plantas pequeñas de tratamiento de agua, la dilución con aire puede ser factible, pero en las plantas grandes se utiliza uno de los tres métodos siguientes para destruir el ozono sobrante:

- 1) Descomposición térmica → Mediante la elevación de la temperatura a más de 300 °C (<1 sg) se consigue la descomposición del ozono en oxígeno. Presenta un elevado consumo energético.
- 2) Descomposición catalítica → Por pasaje a través de catalizadores de metales u óxidos de metal que transforman el ozono en oxígeno. Los gases de entrada deben ser calentados a unas temperaturas de 30 – 50° C. Poco consumo energético.
- 3) Absorción en carbón activado granular húmedo.

EJEMPLO

Equipos generadores de ozono



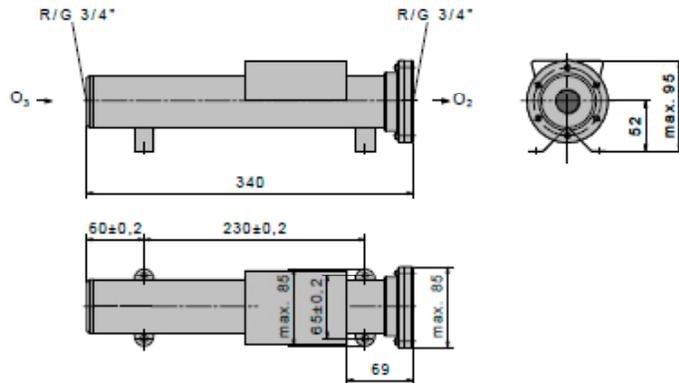
Generadores WEDECO™



Generador SEFILTRA™

EJEMPLO

Equipos destructores de ozono residual



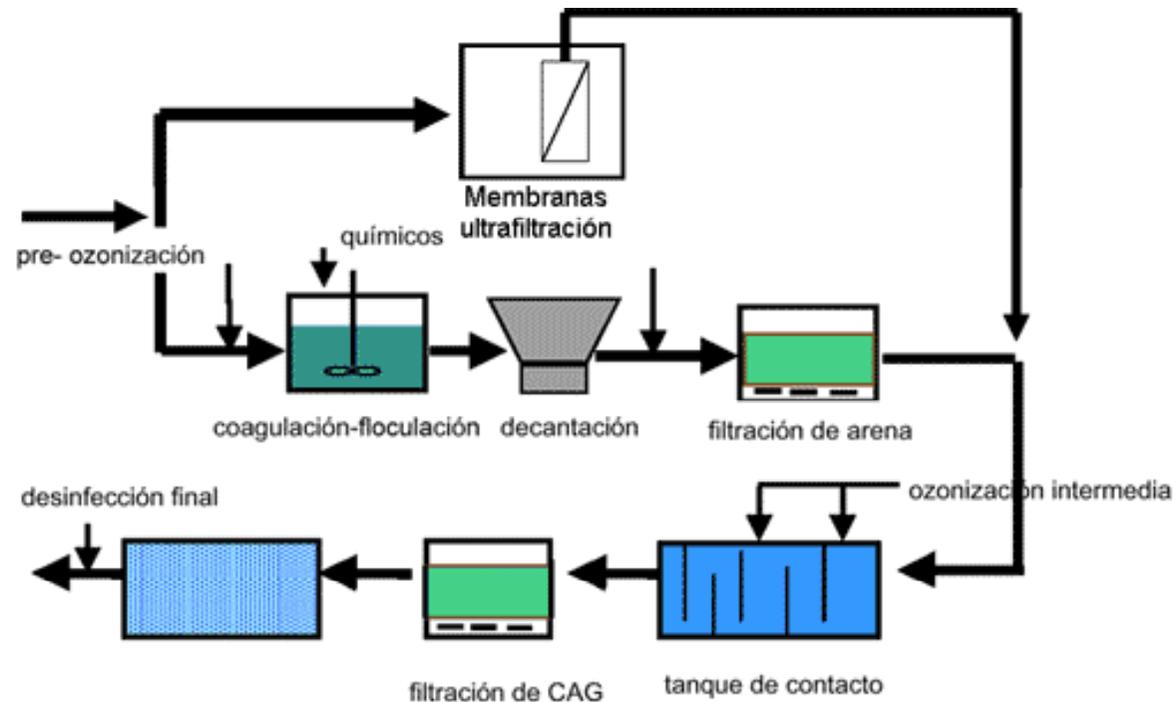
Destructor catalítico de ozono KVM Innovatec



Destructor de ozono GUOLIN

El tratamiento de agua potable con ozono representa una alternativa ecológica a otros agentes oxidantes, como pueda ser el cloro. Como el ozono se genera in situ mediante sistemas completamente automatizados, la cantidad de ozono producida puede regularse para ajustarse a los requerimientos según el caudal y la demanda de agua. Esto reduce al mínimo los operarios necesarios para el mantenimiento y control de la planta.

Tratamiento completo con desinfección previa por ozono



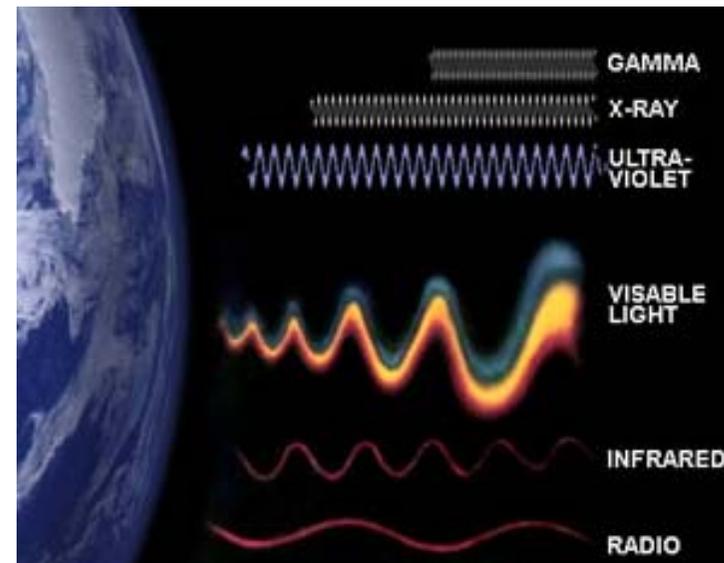
RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

La luz ultravioleta (UV) es una alternativa de desinfección utilizada en tratamientos de aguas potables y residuales (mayor experiencia) que garantiza la desinfección efectiva sin obtención de subproductos de desinfección problemáticos.

Los efectos germicidas de energía radiante del sol fueron experimentados por primera vez por Downs y Blunt en 1878. La aplicación práctica de la luz UV requirió, sin embargo, el desarrollo de la lámpara de vapor de mercurio como fuente de luz UV artificial en 1901 y el uso del cuarzo como envoltura ideal de lámpara en 1905.

El bajo coste de la desinfección mediante cloro, combinado con problemas operativos y de fiabilidad retardaron la aplicación de la radiación UV hasta la década de 1950.

La luz ultravioleta es la porción del espectro electromagnético que se encuentra entre los rayos X y la luz visible, con una longitud de onda comprendida entre los 100 y los 400 nm.



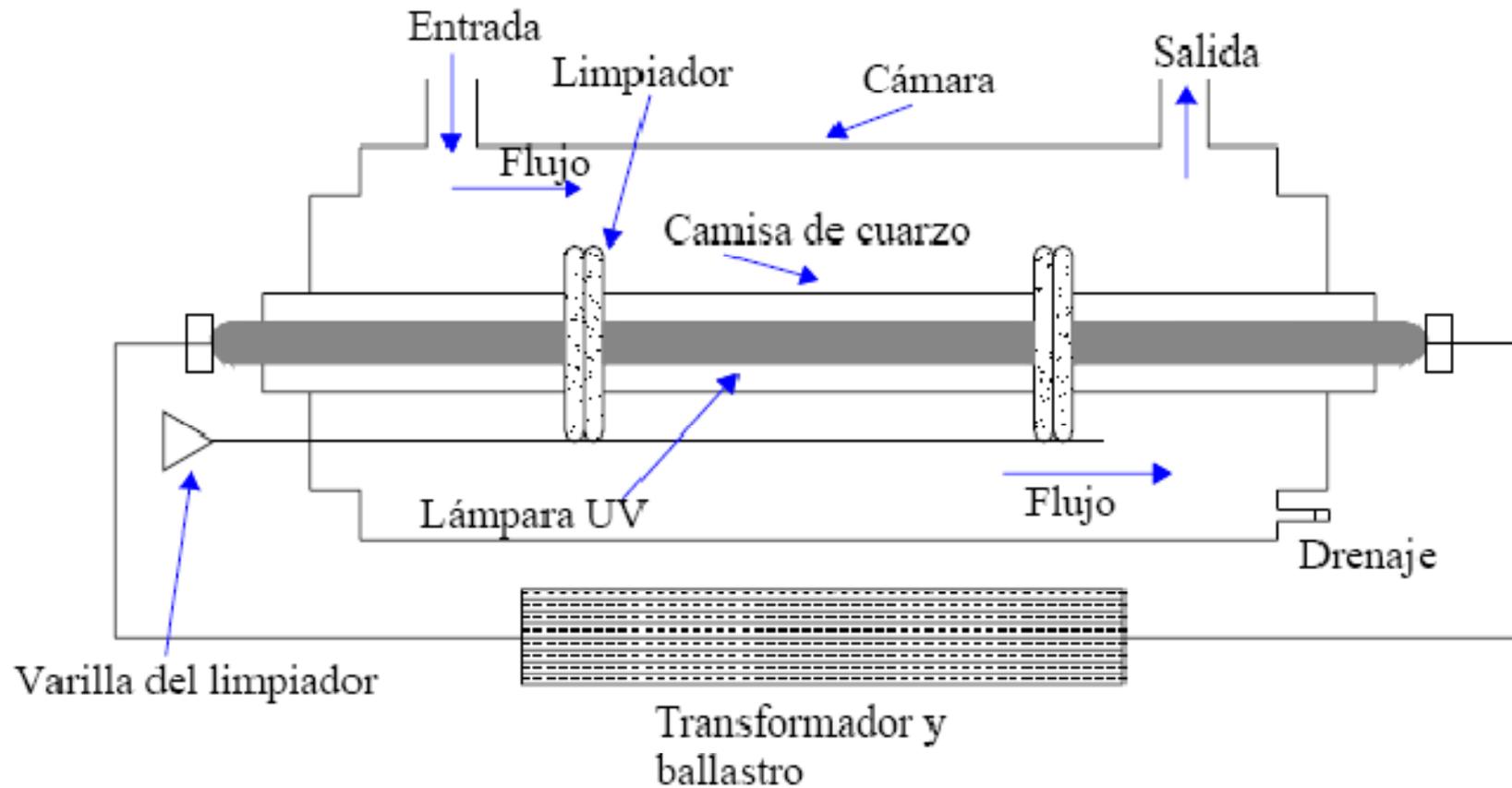
La luz UV se produce por medio de lámparas de vapor de mercurio de alta y baja presión, siendo más populares las últimas (semejantes a las lámparas fluorescentes).

La desinfección del agua con luz UV puede lograrse con longitudes de onda de entre 240 y 280 nm, obteniéndose la máxima eficiencia germicida a los 250 - 260 nm. Mediante este procedimiento se actúa sobre los microorganismos no por vía química sino por vía fotoquímica. La absorción de luz por los seres vivos provoca alteraciones de los compuestos moleculares esenciales en la función celular.

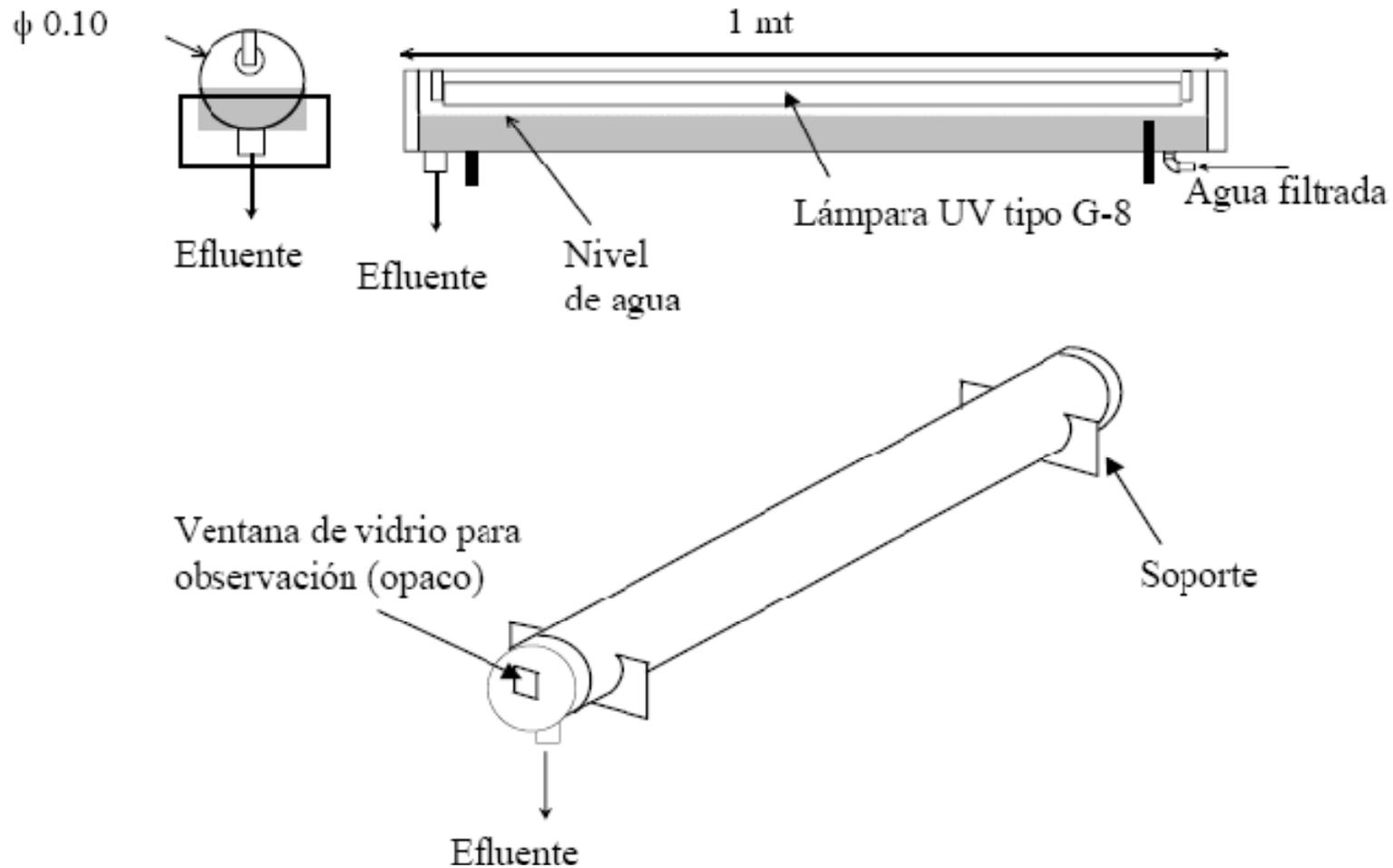
El poder de desinfección depende de la intensidad de la radiación, del tiempo de exposición y de la transmisión de la luz UV en el agua.

Hay dos tipos básicos de cámaras de exposición del agua a la radiación ultravioleta:

- 1) Aquellas con lámpara sumergida en el agua (aisladas por una camisa de cuarzo)
- 2) Aquellas con lámpara situada fuera del agua (suspendidas casi a nivel de la superficie del agua)



Instalación típica de un equipo de radiación UV con lámpara sumergida



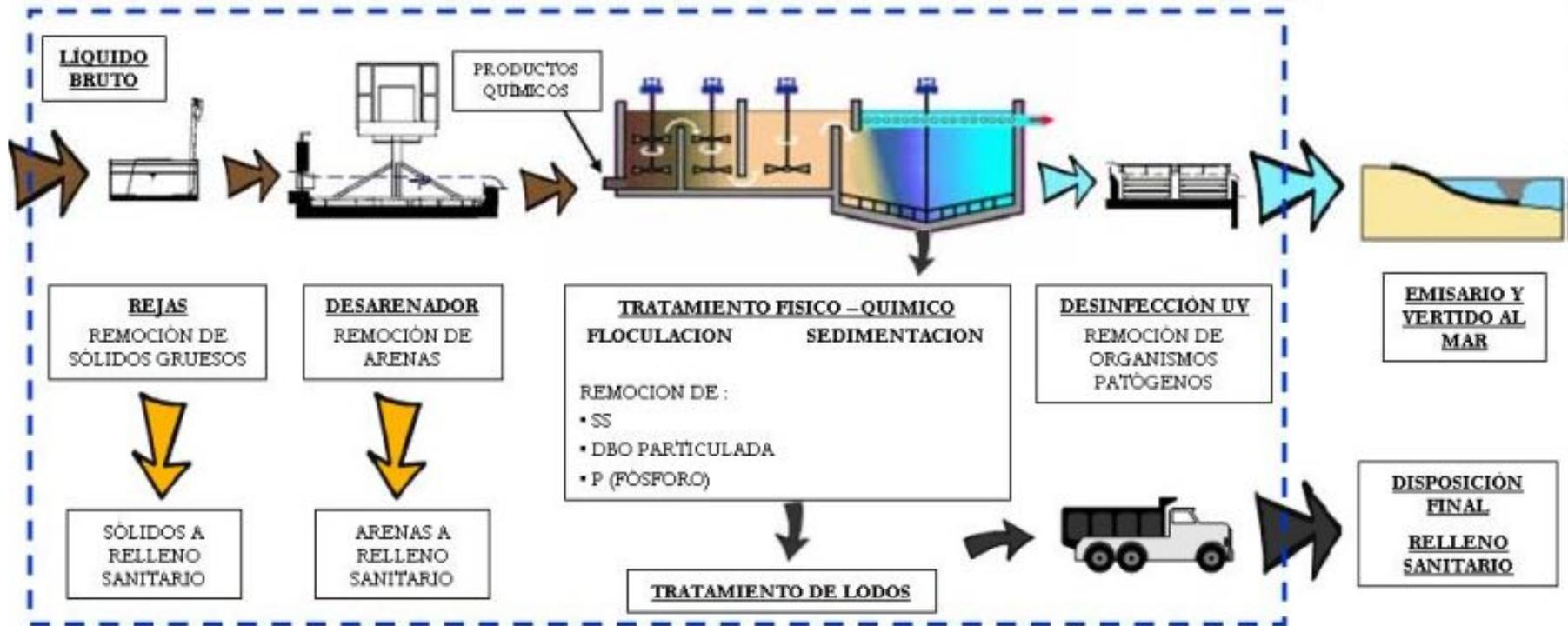
Instalación típica de un equipo de radiación UV con lámpara fuera del agua

El sistema de radiación UV presenta las siguientes ventajas:

- Bajo coste inversión y explotación
- No se introducen compuestos extraños en el agua y el carácter físico - químico de ésta no queda afectado (no forma THM)
- Los compuestos nitrogenados no afectan su capacidad de desinfección
- Se necesitan tiempos de contacto muy cortos
- La sobredosificación no produce efectos perjudiciales
- Es compatible con otros desinfectantes

Pero cuenta con una serie de inconvenientes

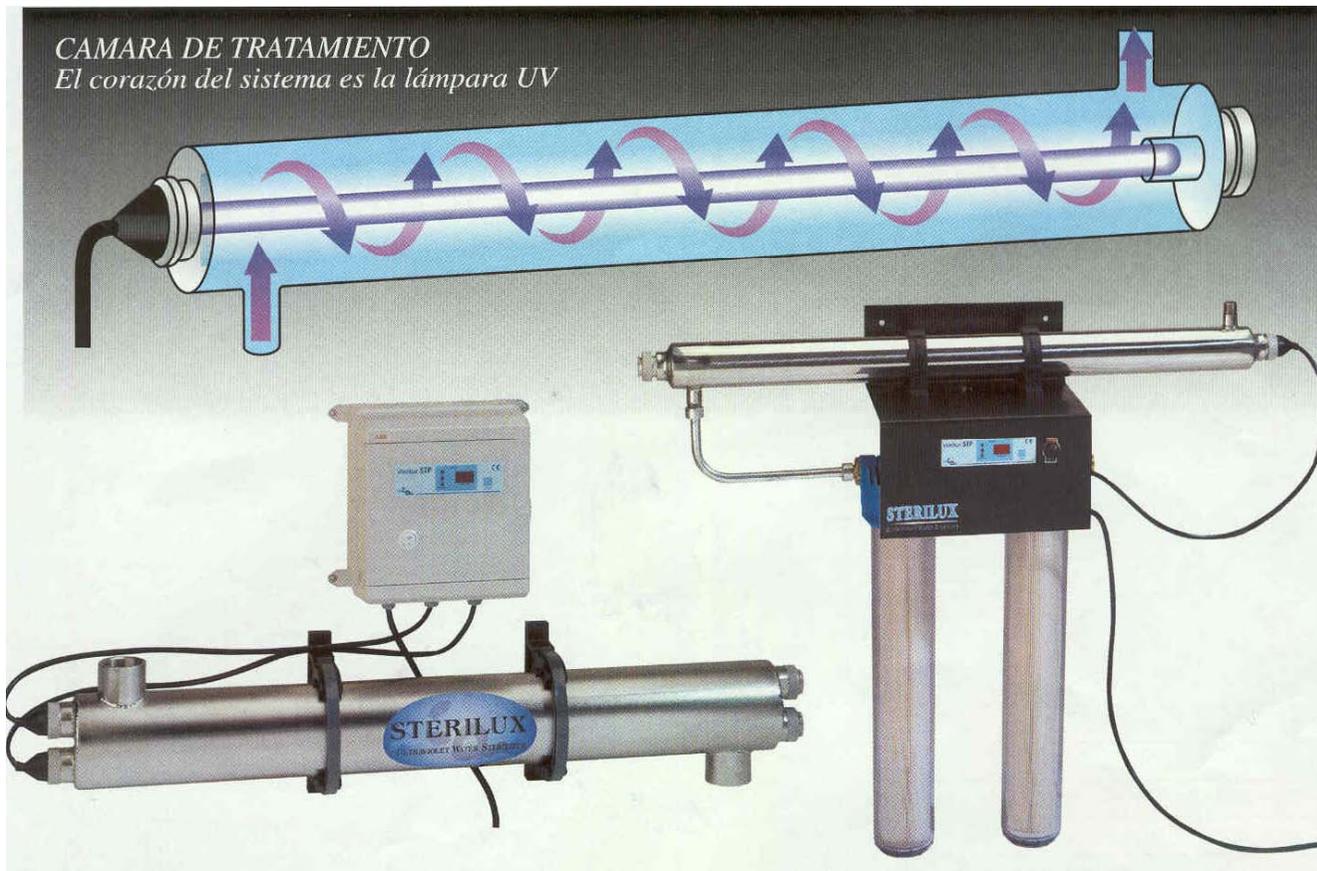
- Los quistes de protozoos y los virus son menos sensibles que las bacterias a la radiación UV
- No genera desinfección residual
- Se producen gastos elevados de energía eléctrica y se requieren equipos caros
- Se requiere mantenimiento frecuente y caro de las lámparas
- Solo es competitivo para pequeños caudales



Tratamiento completo con desinfección mediante rayos ultravioleta

EJEMPLO

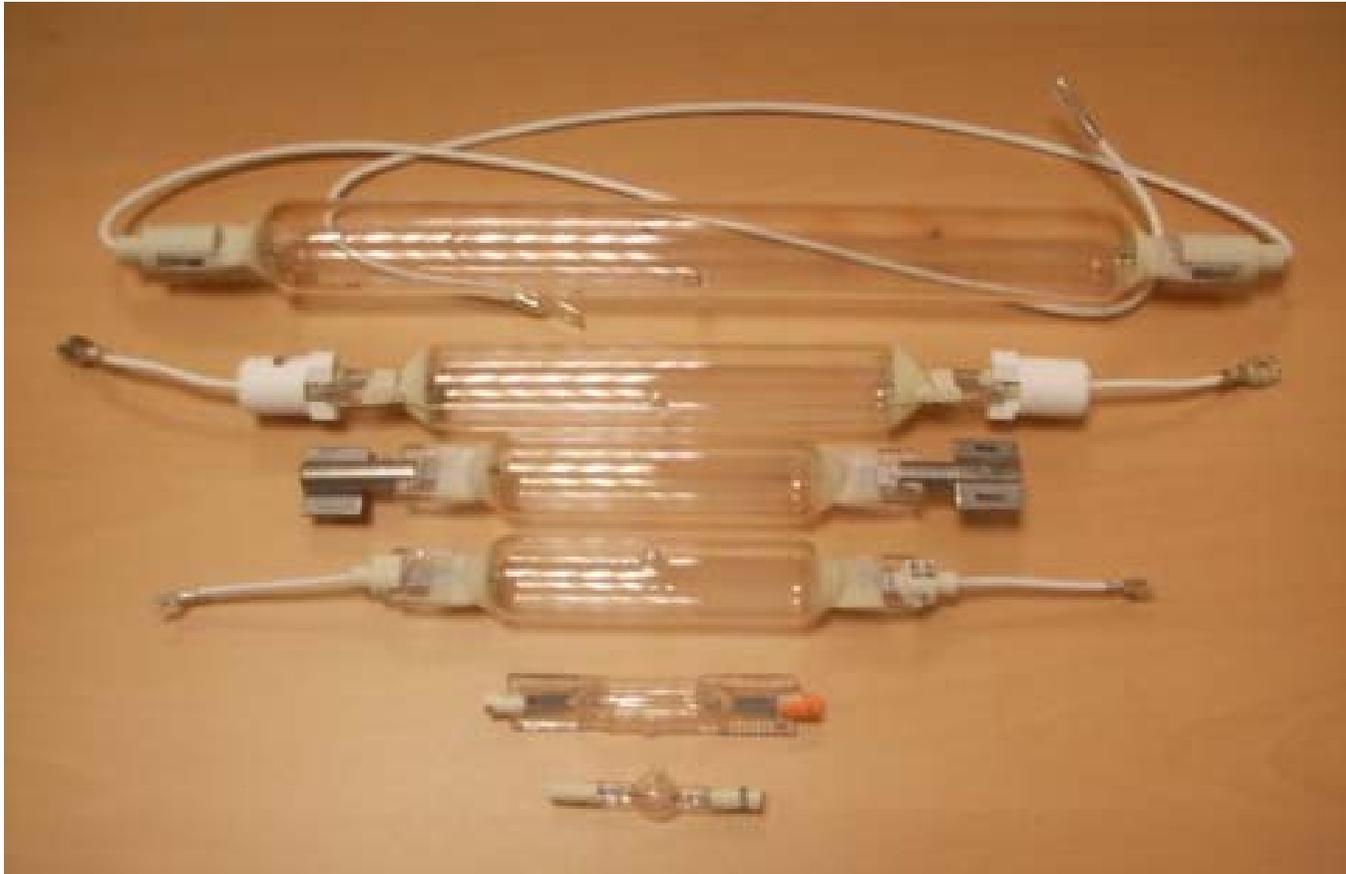
Equipo UV con lámpara sumergida



EJEMPLO

Lámparas UV empleadas

fuera del agua



EJEMPLO

Otras aplicaciones lámparas UV



PERMANGANATO POTÁSICO

El permanganato potásico (KMnO_4) se obtiene a partir del dióxido de manganeso (MnO_2) y se presenta en estado sólido (cristales) que hay que disolver en agua (1 - 3%).

Se trata de un compuesto bastante oxidante y es utilizado principalmente en el control de olor y sabor, eliminación de color y control de crecimiento de microorganismos en estaciones de tratamiento de aguas.

También puede ser útil en la eliminación de hierro, manganeso y en el control de precursores de THM y otros subproductos antes del uso de otros desinfectantes. El permanganato de potasio inhibe el crecimiento de bacterias y virus.



Además, favorece la coagulación, eliminando turbidez y es un fuerte algicida.

Como desventaja señalaremos que un exceso en la dosis necesaria produciría una coloración rosácea del agua.

Resolución 23 de Abril. 1984. AGUAS Aditivos y Coadyuvantes tecnológicos autorizados para tratamiento de las potables de consumo público. B.O.E. Nº111 9 de Mayo 1984.

Dosis medias	Producto	Ventajas	Inconvenientes
1-20 mg/l Residual a 10 mg/l	Cloro	<ul style="list-style-type: none"> -Versatilidad -Facilidad de aplicación -Experiencia -Reconocido poder bactericida y virulicida -Alto poder de desinfección -Remanencia -Eficaz en la eliminación de NH_3 y S^{2-} -Economía relativa 	<ul style="list-style-type: none"> -Formación de THM -Poco efecto sobre olores y sabores -Muy sensible al pH -Instalación específica -Dosis máxima 30 mg/l
0,5 – 2,5 mg/l	Ozono	<ul style="list-style-type: none"> -Acción viricida -No ocasiona THM -Mejora las características organolépticas -Destrucción fenoles -Independencia pH -Eficaz contra Fe y Mn 	<ul style="list-style-type: none"> -No elimina NH_3 -Remanencia casi nula -Alto coste inversión y mantenimiento -Presencia ozónidos -Carácter corrosivo -Instación específica

0,1 – 0,3 mg/l Residual 0,05 mg/l	Dióxido de cloro	<ul style="list-style-type: none"> -Altos rendimientos en la eliminación de : Fe, Mn, color, fenoles y bacterias -Poder de remanencia -Ausencia de THM 	<ul style="list-style-type: none"> - Poco efecto sobre los sabores -Ineficaz frente NH₃ -Coste elevado -Presencia de cloritos y cloratos -Dificultad preparación.Explosión -Instalación específica -Clorito Sódico
	Radiaciones UV	<ul style="list-style-type: none"> -Alta frecuencia frente: virus, olor, sabor -No altera características del agua -No almacenaje No subproductos 	<ul style="list-style-type: none"> -Tecnología sofisticada -Alto coste (diseño control y mantenimiento) -Problemas en paradas -Nula capacidad de remanencia -Poco eficaz en turbias
0,2 – 1,5 mg/l	Permanganato potásico	<ul style="list-style-type: none"> -No tóxico, ni subproductos tóxicos -Facilidad de uso/instalación -Mejora calidad organoléptica del agua -Elimina Mn, Fe y Materia orgánica -Poder algicida -Control precursores Trihalometanos 	<ul style="list-style-type: none"> -No actúa sobre el NH₃ -No tiene poder remanente -Tiempo de contacto/coloración -Precipitación de MnO₂ en régimen laminar en tuberías -Dosis máxima 2mg/l



Capítulo 3. POTABILIZACIÓN DE AGUAS

Tema 10. Desinfección



BIBLIOGRAFÍA

BLACK & VEATCH CORPORATION. *White's handbook of chlorination and alternative disinfectants*. New Jersey: John Wiley and Sons, 2010. 1062 p. ISBN: 978-0-470-18098-3

DEGREMONT. *Manual técnico del agua*. 4ª ed. Bilbao: Grafo, 1979. 1216 p. ISBN: 84-300-1651-1

GOMEYA, C. et al. *Tratamiento de aguas para abastecimiento público*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1977. 240 p. ISBN: 84-7146-090-4

HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. *Depuración y desinfección de aguas residuales*. 5ª ed. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2001. 1151 p. Colección Señor nº 9. ISBN: 84-380-0190-4.

REFERENCIA DE IMÁGENES

DIPOSITIVA PORTADA

[Imagen tomada de] “Cloro para piscina”. *dePiscina* [en línea]. Disponible en: <<http://www.depiscina.com/wp-content/uploads/2011/05/cloro-piscinas.jpg>>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIPOSITIVA página 2

“Bacteria” [Imagen tomada de] “Microorganismos Patogenos photos”. *Photobucket* [en línea]. Disponible en: <<http://i278.photobucket.com/albums/kk91/ezilir/Bacteria202.jpg?t=1242070497>>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIPOSITIVA página 5

“Sodium-hypochlorite” [Imagen tomada de] “Hipoclorito de sodio”. *Wikipedia, la enciclopedia libre* [en línea]. 3 de julio de 2011. Disponible en: <<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d2/Sodium-hypochlorite.png>>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

“Ozone-1,3-dipole” [Imagen tomada de] “Ozono”. *Wikipedia, la enciclopedia libre* [en línea]. 7 de mayo de 2011. Disponible en: <<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a6/Ozone-1%2C3-dipole.png>>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

“Hydrogen-peroxide-2D” [Imagen tomada de] “Peróxido de hidrógeno”. *Wikipedia, la enciclopedia libre* [en línea]. 30 de junio de 2011. Disponible en: <<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/32/Hydrogen-peroxide-2D.png>>. [Consulta: 4 de julio de 2011]



Capítulo 3. POTABILIZACIÓN DE AGUAS

Tema 10. Desinfección



DIPOSITIVA página 5 (continuación)

“Permanganate-anion-2D” [Imagen tomada de] “Permanganato”. *Wikipedia, la enciclopedia libre* [en línea]. 23 de febrero de 2011. Disponible en: <<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/07/Permanganate-anion-2D.png>>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIPOSITIVA página 6

“Etiqueta lejía” © Francisco Javier Pérez de la Cruz

[Imagen tomada de] “Agua oxigenada CUVE® (Antisépticos tópicos)”. *Laboratorios Pérez Giménez* [en línea]. Disponible en: <http://www.perezgimenez.es/gestor/ficheros/agua_oxigenada.jpg>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIPOSITIVA página 9

“Embalse de Guajaraz con torre de toma para la captación del agua bruta” [Imagen tomada de] “Fotos”. *ETAP Cerro de los Palos - Toledo* [en línea]. Disponible en: <http://usuarios.arsystel.com/raulh/etap_toledo/1000.jpg>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

“Estación de Bombeo Guajaraz de agua bruta hacia la ETAP” [Imagen tomada de] “Fotos”. *ETAP Cerro de los Palos - Toledo* [en línea]. Disponible en: <http://usuarios.arsystel.com/raulh/etap_toledo/1001.jpg>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIPOSITIVA página 10

“Canal de entrada en la ETAP” [Imagen tomada de] “Fotos”. *ETAP Cerro de los Palos - Toledo* [en línea]. Disponible en: <http://usuarios.arsystel.com/raulh/etap_toledo/1003.jpg>. [Consulta: 4 de julio de 2011] 66

DIAPOSITIVA página 10 (continuación)

“Compuerta tajadera para aislamiento del pretratamiento” [Imagen tomada de] “Fotos”. *ETAP Cerro de los Palos - Toledo* [en línea]. Disponible en: <http://usuarios.arsystel.com/raulh/etap_toledo/1004.jpg>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIAPOSITIVA página 11

“Depósito de mezcla y dosificación de permanganato potásico KMnO_4 fuera de servicio” [Imagen tomada de] “Fotos”. *ETAP Cerro de los Palos - Toledo* [en línea]. Disponible en: <http://usuarios.arsystel.com/raulh/etap_toledo/1016.jpg>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

“Preoxidación opcional en la EB Guajaraz con permanganato potásico KMnO_4 ” [Imagen tomada de] “Fotos”. *ETAP Cerro de los Palos - Toledo* [en línea]. Disponible en: <http://usuarios.arsystel.com/raulh/etap_toledo/1002.jpg>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIAPOSITIVA página 12

“Almacenamiento de oxígeno O_2 líquido para generación de ozono O_3 ” [Imagen tomada de] “Fotos”. *ETAP Cerro de los Palos - Toledo* [en línea]. Disponible en: <http://usuarios.arsystel.com/raulh/etap_toledo/1006.jpg>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

“Generador de ozono para preoxidación del agua bruta” [Imagen tomada de] “Fotos”. *ETAP Cerro de los Palos - Toledo* [en línea]. Disponible en: <http://usuarios.arsystel.com/raulh/etap_toledo/1007.jpg>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIAPPOSITIVA página 13

“Conductos de ozono hacia las cámaras de preoxidación y dosificación de reactivos PAC18+CAG al fondo” [Imagen tomada de] “Fotos”. *ETAP Cerro de los Palos - Toledo* [en línea]. Disponible en: <http://usuarios.arsystel.com/raulh/etap_toledo/1009.jpg>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

“Eliminador de ozono residual sobre las cámaras de ozonización” [Imagen tomada de] “Fotos”. *ETAP Cerro de los Palos - Toledo* [en línea]. Disponible en: <http://usuarios.arsystel.com/raulh/etap_toledo/1008.jpg>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIAPPOSITIVA página 14

“Gas cylinder” [Imagen tomada de] “Selling Leads”. *Shanghai Ronghua High-pressure Vessel Co.Ltd* [en línea]. Disponible en: <<http://img.en.china.cn/0/0,0,139,19724,1024,768,f1f149dc.jpg>>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

“Gas cylinder” [Imagen tomada de] “Selling Leads”. *Shanghai Ronghua High-pressure Vessel Co.Ltd* [en línea]. Disponible en: <<http://img.en.china.cn/0/0,0,60,19631,1024,768,2279f9a9.jpg>>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIAPPOSITIVA página 15

“Carl Wilhem Scheele” [Imagen tomada de] “Carl Scheele”. *Zgapa* [en línea]. Disponible en: <http://www.zgapa.pl/zgapedia/data_pictures/_uploads_wiki/c/Carl_wilhem_scheele.jpg>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIPOSITIVA página 17

“Especiación del cloro en función del pH y la temperatura”. En: HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. *Depuración y desinfección de aguas residuales*. 5ª ed. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2001. 1151 p. Colección Señor nº 9. ISBN: 84-380-0190-4. Página 709

DIPOSITIVA página 23

“Curva de demanda de cloro”. En: HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. *Depuración y desinfección de aguas residuales*. 5ª ed. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2001. 1151 p. Colección Señor nº 9. ISBN: 84-380-0190-4. Página 728

DIPOSITIVA página 24

“Esquema de instalaciones de cloración” [Imagen tomada de] “Cloración”. *El agua potable* [en línea]. Disponible en: <<http://www.fortunecity.es/felices/andorra/51/clorometros.jpg>>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIPOSITIVA página 25

“Almacén de cloro” [Imagen tomada de] “Cloro y derivados”. *Estación de tratamiento de aguas potables* [en línea]. Disponible en: <<http://prueba2.aguapedia.org/master/formacion/etap/temario/img/7.jpg>>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIPOSITIVA página 26

“Evaporadores de cloro” [Imagen tomada de] “Cloro y derivados”. *Estación de tratamiento de aguas potables* [en línea]. Disponible en: <<http://prueba2.aguapedia.org/master/formacion/etap/temario/img/8.jpg>>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIPOSITIVA página 27

“Analizador de cloro con medición de pH, ORP y temperatura” [Imagen tomada de] “Hanna Instruments”. *Directindustry* [en línea]. Disponible en: <http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/analizador-de-cloro-con-medicion-de-ph-orp-y-temperatura-226559.jpg>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

“Medidor redox orp temperatura cloro ozono depuradora piscina osmosis inversa” [Imagen tomada de] “Productos”. *SoloStocks* [en línea]. Disponible en: <<http://www.solostocks.com/img/medidor-redox-orp-temperatura-cloro-ozono-depuradora-piscina-osmosis-inversa-5891502z0.jpg>>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIPOSITIVA página 28

[Imagen tomada de] “Cloradores de Gas Regal”. *Agua y aire* [en línea]. Disponible en: <<http://www.aguayaire.com/IMAGENES/cloradores/dcloro.jpg>>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

[Imagen tomada de] “¿Qué es un eyector?” [blog] *Mundo SGM* [en línea]. 27 de marzo de 2009. Disponible en: <<http://img216.imageshack.us/img216/5307/esquemadeuneyectorapl6.png>>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIPOSITIVA página 29

[Imagen tomada de] “ClO₂ Gas - Generación, Dosificación, Medición y Control”. *Miagua* [en línea]. Disponible en: <http://miagua.com/Miagua-Management/Imagenes/modelo_3D.png>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIPOSITIVA página 30

[Imagen tomada de] “Dióxido de cloro”. *El agua potable* [en línea]. Disponible en: <<http://www.fortunecity.es/felices/andorra/51/ClO2%20THM.gif>>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIPOSITIVA página 32

“Generador de dióxido de cloro (sistema de dos componentes)” [Imagen tomada de] *Dióxido de cloro* [en línea]. Disponible en: <www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/fulltext/desinfeccion/capitulo7.pdf>. [Consulta: 25 de abril de 2011]

DIPOSITIVA página 33

“Generador de ClO₂ (sistema de tres componentes)” [Imagen tomada de] *Dióxido de cloro* [en línea]. Disponible en: <www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/fulltext/desinfeccion/capitulo7.pdf>. [Consulta: 25 de abril de 2011]

DIPOSITIVA página 34

[Imagen tomada de] “Chlorine Dioxide Uses”. *Prowater limited* [en línea]. Disponible en: <<http://www.chlorinedioxideequipment.co.uk/pictures/Chloridos.jpg>>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

[Imagen tomada de] “New Mini Chlorine Dioxide Unit an Ideal Solution for Legionella Control”. *The Ingeneer* [en línea]. Disponible en: <<http://www.theengineer.co.uk/pictures/web/images/26401.gif>>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIPOSITIVA página 35

“Martin van Marum by Charles Howard Hodges” [Imagen tomada de] “Martinus van Marum”. *Wikipedia, la enciclopedia libre* [en línea]. Disponible en: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9e/Martin_van_Marum_by_Charles_Howard_Hodges.JPG>. [Consulta: 4 de julio de 2011]



Capítulo 3. POTABILIZACIÓN DE AGUAS

Tema 10. Desinfección



DIPOSITIVA página 36

“NASA 2006 Satellite Image of Ozone Hole” [Imagen tomada de] “Low GWP Hydronic Heating and Cooling Systems”. *The University of Texas at Tyler* [en línea]. Disponible en: <http://www.uttyler.edu/txaire/images/techprojects/nasa_ozone_hole_img.png>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIPOSITIVA página 38

“Esquema básico del proceso de ozonización” [Imagen tomada de] *Ozono* [en línea]. Disponible en: <www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/fulltext/desinfeccion/capitulo6.pdf>. [Consulta: 25 de abril de 2011]

DIPOSITIVA página 39

“Generador Dieléctrico de Ozono” [Imagen tomada de] *Ozono* [en línea]. Disponible en: <www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/fulltext/desinfeccion/capitulo6.pdf>. [Consulta: 25 de abril de 2011]

DIPOSITIVA página 40

“Contactor de cámaras separadas con deflectores y difusores” [Imagen tomada de] *Ozono* [en línea]. Disponible en: <www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/fulltext/desinfeccion/capitulo6.pdf>. [Consulta: 25 de abril de 2011]

“Difusor de turbina” [Imagen tomada de] *Ozono* [en línea]. Disponible en: <www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/fulltext/desinfeccion/capitulo6.pdf>. [Consulta: 25 de abril de 2011]

DIPOSITIVA página 42

[Imagen tomada de] “ITT mejorará el agua potable de Madrid”. *ITT Water Wastewater* [en línea]. 4 de diciembre de 2009. Disponible en: <<http://www.ittwww.es/3062823.JPG>>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

[Imagen tomada de] “Ozono”. *Sefiltra* [en línea]. Disponible en: <<http://www.sefiltra.com/images/ozono.gif>>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIPOSITIVA página 43

[Imagen tomada de] *Destruyores catalíticos de ozono. Serie KVMK, KVM, KVMT y KVMI* [en línea]. Disponible en: <http://www.innovatec-rheinbach.de/KVM_Prospekt_spanisch.pdf>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

[Imagen tomada de] “Ozone destructor”. *Qingdao Guolin Industry Co., Ltd.* [en línea]. Disponible en: <http://upload.liaboc.com/upload_media/app/b2b/product/2008/12/22/ozone_destructor.summ.jpg>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIPOSITIVA página 44

[Imagen tomada de] “Ozono”. *ITT Water & Wastewater* [en línea]. Disponible en: <<http://www.ittwww.es/2165250.gif>>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIPOSITIVA página 45

[Imagen tomada de] “Luz ultravioleta: rayos que matan”. *Aquaflash* [en línea]. Disponible en: <http://4.bp.blogspot.com/_zjEni4WS4HU/SeWJXcU_lxI/AAAAAAAAAB_0/GhvVf0U2yyg/s1600-h/rays%5B1%5D.jpg>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIPOSITIVA página 47

“Instalación típica de un equipo de radiación UV con lámpara sumergida” [Imagen tomada de] *Radiación Ultravioleta* [en línea]. Disponible en: <www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/fulltext/desinfeccion/capitulo4.pdf>. [Consulta: 25 de abril de 2011]

DIPOSITIVA página 48

“Instalación típica de un equipo de radiación UV con lámpara fuera del agua” [Imagen tomada de] *Radiación Ultravioleta* [en línea]. Disponible en: <www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/fulltext/desinfeccion/capitulo4.pdf>. [Consulta: 25 de abril de 2011]

DIPOSITIVA página 50

[Imagen tomada de] “Tratamiento primario avanzado”. *Ugdmaldonado* [en línea]. Disponible en: <<http://www.ugdmaldonado-ose.com.uy/images/esquema1.jpg>>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIPOSITIVA página 51

[Imagen tomada de] “Esterilizador UVA ESTERILUX”. *Potabilización por ultravioleta* [en línea]. Disponible en: <<http://www.aquataide.com/uva1.jpg>>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIPOSITIVA página 52

“High Pressure Metal Halide” [Imagen tomada de] “Product UV Lamps”. *Innotechnik* [en línea]. Disponible en: <<http://www.innotechnik.com/Images/uv%20lamp%20pic%20mh2k.jpg>>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIPOSITIVA página 53

“UV Wand” [Imagen tomada de] “Tecnología”. *Starrywings* [en línea]. 18 de diciembre de 2009. Disponible en: <<http://starrywings.blogspot.com/wp-admin/images/00012388-z1.jpg>>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

[Imagen tomada de] “Escáner desinfectante por rayos UV” [blog] *No puedo creer* [en línea]. 4 de marzo de 2008. Disponible en: <http://www.nopuedocreer.com/quelohayaninventado/wp-content/images/2008/03/uv_scanner.jpg>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIPOSITIVA página 54

“Potassium-permanganate-photo” [Imagen tomada de] “Permanganato de potasio”. *Wikipedia, la enciclopedia libre* [en línea]. Disponible en: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Potassium-permanganate-photo.jpg>>. [Consulta: 4 de julio de 2011]

DIPOSITIVA página 57 y sucesivas

[Imagen tomada de] “Lunes de Mitos: Debes beber al menos 8 vasos de agua al día” [Blog de] *Francesc Josep* [en línea]. 5 de octubre de 2009. Disponible en: <http://www.francescosep.net/wp-content/uploads/2009/10/vaso_agua_herbalife1.jpg>. [Consulta: 1 de julio de 2011]