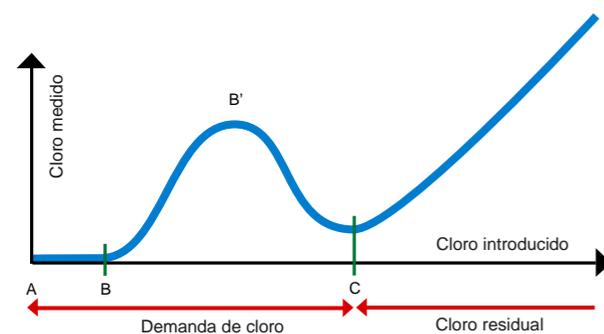


Comportamiento del cloro en el agua

Al introducir el cloro en el agua, se irán produciendo sucesivamente diversas reacciones químicas. Es conveniente que estos mecanismos se conozcan a la perfección antes de proceder a una operación de desinfección.

Evolución de la cantidad de cloro residual en función de la cantidad de cloro introducido



Fase AB: El cloro introducido en el agua se combina inmediatamente con la materia orgánica. Consecuentemente, el residual medido se mantiene en cero. Mientras no se destruyan estos compuestos, no se producirá la desinfección.

Fase BB: A partir del punto B, el cloro se combina con compuestos nitrogenados⁵. Entonces ya se puede medir una cantidad de cloro residual. Esta concentración no corresponde al cloro realmente activo, sino a cloraminas que reaccionan igual que el cloro con los reactivos de los aparatos de medición. Se trata de productos orgánicos complejos, por lo general de fuerte olor, y muy poco desinfectantes.

Fase B'C: Cuando se añade más cloro, se observa que la cantidad de cloro residual que se mide con los aparatos ordinarios de medición, va en descenso. En realidad, el cloro introducido ha servido para destruir los compuestos formados durante la fase BB". El agua no huele tan mal pero sigue sin estar desinfectada.

(5) En particular, los iones amonio.

(6) Partículas coloidales: partículas diminutas en suspensión en el agua.

A partir del punto C, el cloro introducido está finalmente disponible para cumplir su función de desinfectante.

En conclusión, los primeros miligramos de cloro introducidos no garantizan la desinfección. De hecho, antes de que éste pueda garantizar realmente una acción eficaz, se deberá agregar una cantidad variable de desinfectante para que se produzcan todas las reacciones químicas secundarias. Esta cantidad se denomina: Demanda de cloro.

La desinfección debe realizarse en aguas de una buena calidad química (en las que la demanda de cloro sea mínima), con objeto de limitar al máximo las reacciones secundarias, generadoras de subproductos⁶. Por otra parte, la presencia de partículas coloidales protege a los microorganismos de la acción desinfectante del cloro.

Antes de iniciar la desinfección, deben realizarse pruebas sistemáticas para determinar la cantidad de cloro que se debe agregar para lograr superar la fase de las reacciones secundarias (ver anexo).

Por ejemplo, algunas veces puede ser necesario introducir 5 ó 10mg de cloro por cada litro de agua, para poder

ESTUDIO DE CASO

Desinfección en las Américas: una necesidad

En los Estados Unidos y Canadá las infecciones de origen hídrico están prácticamente controladas, a pesar de lo cual aún surgen algunos brotes de las mismas. En los últimos 24 años, en los Estados Unidos se reportaron 740 brotes de infecciones de origen hídrico, existiendo adicionalmente muchos que no fueron reportados o reconocidos. Aunque en estos países la morbilidad y la mortalidad debidas a enfermedades de origen hídrico es casi inexistente comparada con la realidad existente en América Latina, este nivel residual de enfermedad sirve para recordar que ningún país puede olvidar la vulnerabilidad de sus sistemas de agua potable ante la contaminación microbiológica, y consecuentemente no debe descuidar la desinfección del agua.

De hecho, el más grande brote reportado en los Estados Unidos ocurrió en 1993, cuando la contaminación del sistema de abastecimiento de agua de Milwaukee, Wisconsin con Cryptosporidium causó 400.000 enfermos, 1.000 hospitalizaciones y 50 muertes.

obtener al término del tratamiento 0.5 mg/l de cloro activo, ya que el resto del desinfectante es consumido por las impurezas y productos disueltos.

Para una desinfección eficaz

La eficacia de la desinfección final es máxima cuando el agua ya ha sido tratada para eliminar toda turbiedad⁷ y, más exactamente para eliminar toda sustancia que pueda reaccionar y "consumir" el cloro. Si los tratamientos previos no se aplican o no se pueden aplicar, o se aplican de forma errónea en un momento dado, una sobredosis de cloro permitirá obtener una desinfección correcta del agua, si bien, como consecuencia de ello, aparecerán subproductos de desinfección.

Parámetros técnicos que influyen en la eficacia de la desinfección

Turbiedad	< 0,5 NTU ⁸
pH	< 8,0
Tiempo de retención	> 30 min
Cloro libre residual	> 0,5 mg/l

Es primordial que el tratamiento anterior a la desinfección final produzca un agua cuya turbiedad media no exceda de 1 NTU y en ningún caso una muestra presente una turbiedad superior a 5 NTU.

Esta exigencia es tanto más necesaria por cuanto algunos parásitos clásicos (Giardia, gusano de Guinea o Cryptosporidium) no se destruyen en la desinfección.

La cantidad de cloro que hay que añadir al agua para la desinfección depende:

- de la temperatura del agua,
- del tiempo de contacto (tiempo transcurrido entre la inyección del cloro y el consumo del agua),
- del contenido residual de desinfectante deseado en la red.

Desde un punto de vista general, la desinfección será óptima cuando se cumplan los parámetros descritos en el siguiente cuadro:

Su eliminación sólo se consigue por medio de una filtración eficaz, ya sea natural o insertada en una cadena de tratamientos

La acidez o la alcalinidad del agua afecta a la desinfección con cloro. Hay que recordar que un agua con pH básico (pH > 8) sólo podrá ser desinfectada eficazmente con una sobredosis de cloro.

El efecto desinfectante del cloro no es inmediato. Se requiere un tiempo de contacto mínimo de treinta minutos entre agua y desinfectante antes de su consumo.

La supervisión y el mantenimiento de las instalaciones

Los equipos, y en especial el funcionamiento de los aparatos de desinfección deben ser objeto de una atención permanente por parte de los responsables:

- inspección, si es posible diaria, de la planta de tratamiento,
- medición del cloro residual varias veces al día, tras el tratamiento y en el extremo de la red,
- mantenimiento de un libro que registre las intervenciones o incidentes acaecidos durante la operación de la red.

Las inspecciones se multiplicarán en caso de circunstancias excepcionales: contaminación de la fuente de agua, lluvias intensas, inundaciones etc.

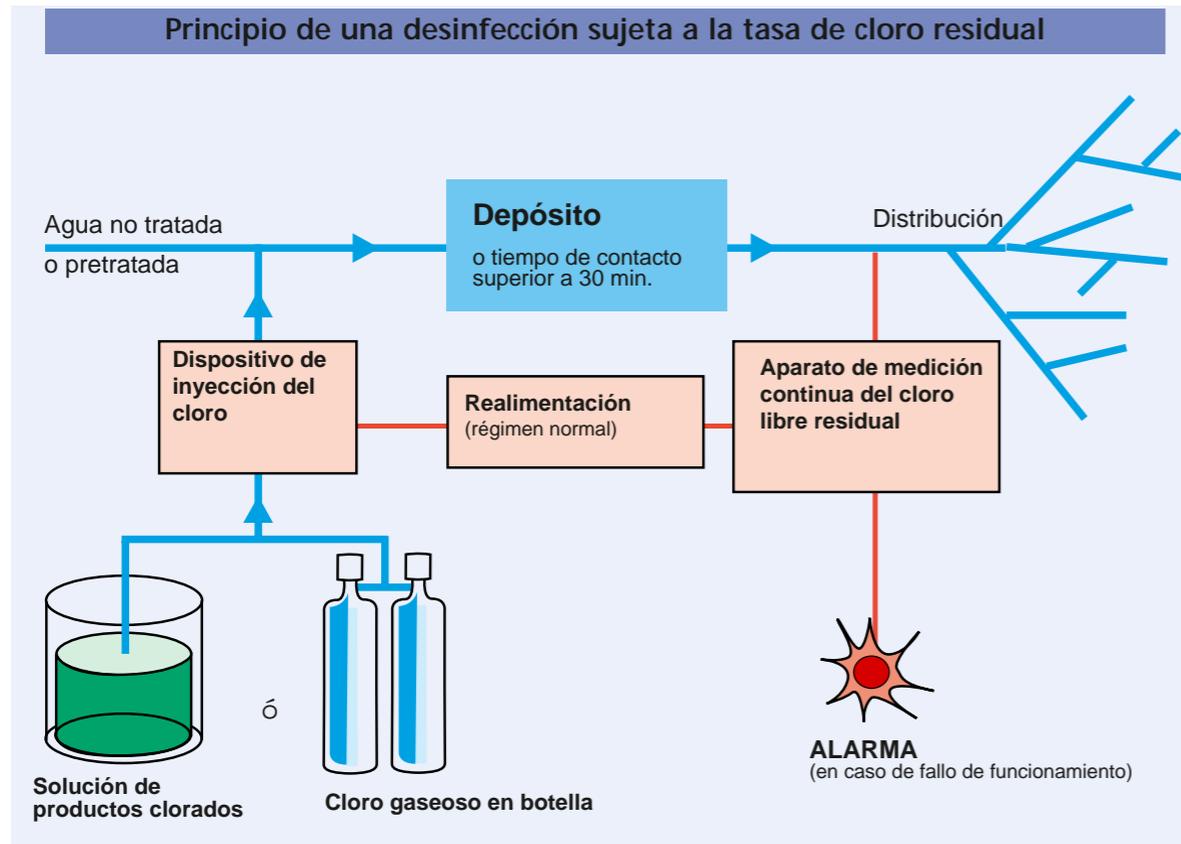
Esta supervisión debe ser realizada por personal calificado y entrenado para efectuar mediciones y controles sobre el terreno.

Contenido de cloro residual

Es muy importante asegurar que exista cloro libre en todos los puntos de la red de distribución de agua: en adición a la acción bactericida del agua tratada en esta forma, el hecho de encontrar cloro en el agua demuestra que no se ha introducido materia orgánica que consumiera el cloro, y por tanto, probablemente tampoco microbios tras el tratamiento. Por el contrario, la ausencia anormal del desinfectante en la red, debe hacer que los responsables apliquen de inmediato medidas de emergencia.

(7) Turbiedad: turbidez del agua debida a la presencia de partículas coloidales minerales (arcillas) u orgánicas (ácidos húmicos...).

(8) NTU: unidad de turbiedad valorada por el porcentaje de luz obstaculizada por las partículas contenidas en una muestra dada de agua (medición nefelométrica).



La cantidad de cloro residual es por consiguiente, una señal de alarma eficaz, inmediata y poco costosa, que permite monitorear la evolución de la calidad microbiológica en la red.

El mejor modo de asegurar que exista siempre una cantidad de cloro residual satisfactoria, es hacer que la cantidad de desinfectante que se introduce dependa de la concentración medida en la red. En algunas redes demasiado largas, puede ser difícil mantener la cantidad adecuada de cloro residual en todos los puntos. En esos casos, puede ser necesario fraccionar la dosificación del cloro instalando cloradores en varios puntos de la red.

Algunas precauciones

Para evitar interrupciones en el abastecimiento de cloro se procurará que siempre exista un cilindro lleno como reserva, y siempre que sea posible, instalar un sistema automático de cambio entre ambos cilindros (conmutador basculante manual o, mejor aún automático).

Cuando se trabaja en las tuberías de la red, es imposible hacerlo en condiciones de asepsia total. Por lo tanto, hay que prever la limpieza y desinfección de la instalación al término del trabajo.

En un inmueble, se pueden producir fenómenos de sifonado en caso de corte o de descenso de presión del agua. Con vistas a evitar una contaminación, la red pública se puede proteger con válvulas antiretorno, incluso con desconectores (para tramos de riesgo).

Aspectos reglamentarios y normativos

Por lo general, las autoridades locales no tienen a su cargo el fijar las normas de calidad. Sin embargo, es muy importante que entiendan los aspectos técnicos que los Gobiernos centrales consideran para la adopción de normas y que sepan interpretar los resultados de un análisis de laboratorio.

Se tendrán en cuenta varios aspectos:

- las normas de calidad microbiológica que permitan garantizar que el agua no está contaminada,
- las normas relativas a la concentración de desinfectante,
- las normas relativas a los productos secundarios de la desinfección.

Normas microbiológicas

El agua destinada al consumo humano no debe contener microorganismos patógenos. Para asegurarse de que el agua está exenta de contaminación fecal y de que se ha realizado una buena desinfección, se utilizan "microorganismos indicadores", cuyos valores guía se

Normas microbiológicas de las aguas de consumo - O.M.S. 1994

<i>Coliformes termo tolerantes</i>	0/100 ml
<i>Coliformes totales</i>	0/100 ml*

* En el 95% de las muestras tomadas en distribución tras tratamiento durante un período de 12 meses. Estadística válida para las grandes redes.

han definido en las recomendaciones de la O.M.S. publicadas en 1994.

Normas relativas a la concentración de desinfectante

El cloro da un sabor al agua. Dependiendo de los países y los hábitos de los consumidores, la "concentración de cloro residual tolerada" puede tener gran variación. En Europa, la mayoría de los países limitan este contenido a un nivel muy bajo, del orden del 0,1mg/l.

En los Estados Unidos y en América en general, donde el sabor a cloro equivale a la garantía de un agua de calidad, dicho valor es de 1mg/l.

La O.M.S. considera que una concentración de 0.5mg/l de cloro libre residual en el agua, después de un tiempo de contacto de 30 minutos garantiza una desinfección satisfactoria.

Por otra parte, la O.M.S. precisa que no se ha observado ningún efecto nefasto para la salud en el caso de concentraciones de cloro libre que lleguen hasta 5mg/l. Esta concentración se ha considerado como valor guía, pero en ningún caso un valor a alcanzar.

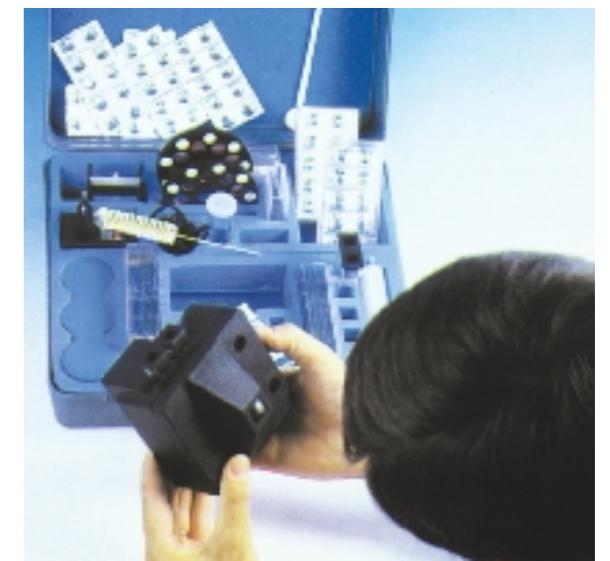
Normas relativas a los subproductos de desinfección

Los subproductos de la desinfección están representados generalmente en los reglamentos por los trihalometanos, THM de forma abreviada.

En 1980, la Unión Europea no había previsto una reglamentación acerca de dichos compuestos. Simplemente se precisaba que el nivel de THM debía ser lo más bajo posible. Algunos países introdujeron, sin embargo, en sus legislaciones normas para estas sustancias. Los valores considerados varían de 25 a 100 (g/l para los THM totales).

En 1994 se publicaron los niveles guía de la O.M.S. relativos a estas sustancias, que se presentan en el anexo. La O.M.S. precisa que el cumplimiento de dichos niveles guía no debe obtenerse en ningún caso en detrimento de las normas microbiológicas.

Aparato de medición de la concentración de cloro en el agua



Aspectos económicos

La desinfección del agua es, por consiguiente, un tratamiento prioritario que, en términos de costo/beneficio, es eminentemente rentable: la proporción del costo de la desinfección en el presupuesto global de operación de la red sigue siendo muy pequeña. Se sitúa, por lo general, entre el 1 y el 3% del costo total, no excediendo nunca del 10%.

Por otro lado, las ventajas económicas de los pre-tratamientos pueden cuestionarse justificadamente.

Los procesos de pretratamiento tienen muchas ventajas, incluyendo las de asegurar un agua más agradable en sabor y olor. El agua tiene más aceptación y la población le otorga más fácilmente su confianza. Adicionalmente, los tratamientos físicos y químicos algunas veces permiten mejorar la calidad química del agua, y sobre todo, lograr reducciones significativas en la concentración de los subproductos de la desinfección. Sin embargo, el costo de aplicar dichos tratamientos (a veces muy elevado) repercute en el precio del agua. En algunos casos, esto puede llevar por razones financieras, a que el sector más desfavorecido de la población no utilice el agua de la red. Esta situación sería muy peligrosa, porque estos grupos podrían utilizar aguas no potables exponiéndose a un gran riesgo de contraer enfermedad.

Resulta difícil el equilibrio entre las limitaciones económicas y los beneficios para el consumidor, y esto puede evaluarse únicamente en función de las condiciones locales.

En ningún caso la aplicación de tratamientos específicos tendientes a reducir la cantidad de los subproductos formados durante la desinfección, puede llevar a reducir la eficacia del servicio prestado al conjunto de la población.

Postura de la O.M.S.

La primera prioridad es asegurar un abastecimiento continuo de agua sana. La desinfección es el tratamiento prioritario e indispensable de cualquier agua contaminada o susceptible de estarlo por microorganismos patógenos.

ESTUDIO DE CASO

El sabor de cloro en el agua

En muchos países, el cloro se considera como un producto químico peligroso. En los Estados Unidos, por el contrario, el sabor a cloro constituye una garantía (del todo justificada) de calidad microbiológica. Una tarea de los responsables de la distribución es conseguir que la población reconozca este hecho. Una encuesta realizada en los años 80 en el Este de Francia mostró que en los pueblos en que se distribuía un agua desinfectada con cloro (y, por tanto, provista de un gusto y un olor característicos), los consumidores dejaban de utilizar el agua del grifo en beneficio de las aguas de pozos particulares no controladas y a menudo contaminadas. Por el contrario, en otros pueblos en que el agua de la red pública no estaba clorada, pero sí contaminada, los consumidores utilizaban preferentemente el agua del grifo.

El uso de recursos hídricos bien protegidos debe preferirse siempre, al uso de recursos vulnerables que requieran tratamientos costosos.

Las medidas para prevenir un riesgo a largo plazo (relacionado por ejemplo con los subproductos de la desinfección) no deben originar riesgos adicionales a corto plazo, tales como aquellos relacionados a las enfermedades infecciosas de origen hídrico. La reducción de los subproductos de la desinfección sólo puede lograrse introduciendo tratamientos específicos o utilizando un recurso hídrico de mejor calidad.

Una vez planteados estos principios básicos, la O.M.S. propuso en 1994 valores guía para un importante número de subproductos de la desinfección (ver anexo).

Recomendaciones



Suministrar, de forma continua, un agua sana en cantidad suficiente

A tal fin, se pondrán en marcha las siguientes medidas:

▶ utilizar recursos de la mejor calidad posible:

Dar preferencia al uso de recursos hídricos subterráneos protegidos naturalmente, en lugar de aguas superficiales. Utilizar estas últimas únicamente si el agua subterránea no está disponible o es inadecuada.

Cuando es indispensable la desinfección, dar preferencia al uso de agua con buenas características físicas y químicas.

▶ prever todos los medios disponibles para proteger los recursos:

Dar prioridad a la protección del recurso sobre la puesta en marcha de tratamientos complejos.

Independientemente del origen del agua, instaurar medidas de protección del recurso, en forma de perímetros de protección para las tomas subterráneas (ver el documento relativo a la protección de las aguas destinadas al consumo humano publicado en la misma colección).

Garantizar la vigilancia de los perímetros de protección y hacer un seguimiento de la evolución de la calidad del recurso. Cuanto más constante sea la calidad del agua antes del tratamiento, tanto más fácil resultará la desinfección.

▶ Garantizar una desinfección eficaz y permanente del agua:

Asegurar que los pretratamientos utilizados sean apropiados para obtener resultados correctos con la desinfección final.

Preferir los tratamientos de desinfección que ofrezcan el más alto nivel de seguridad.

Asegurarse que los tratamientos utilizados, especialmente para desinfección, sean confiables. Siempre que sea posible, la cantidad de cloro que se agregue debe estar determinada por el caudal de agua que se va a tratar.

Asegurarse que siempre exista cloro residual libre en todos los puntos de la red.

Revisar y hacer un mantenimiento regular de todos los componentes del sistema de abastecimiento de agua: tomas, tratamientos, almacenamientos, conducciones etc.



Velar por la información y la participación de la población

Velar por que la población deposite su confianza en la calidad del agua de distribución pública. Una sospecha en cuanto a la calidad puede desviar a la población hacia recursos substitutivos contaminados o no controlados.

Informar al consumidor de la calidad del agua distribuida.

Recordar los beneficios de la desinfección del agua para la salud pública.

Dirección útil

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD
Oficina Regional para las Américas de la
ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD

525 Twenty-third Street, N.W., Washington D.C.
20037, USA

FAX: (202) 974-3645



Bibliografía

Documentos básicos:

"Directives de qualité pour l'eau de boisson" (Directivas de calidad para el agua de bebida), Vol. 1. Recomendaciones, 1994. O.M.S. Ginebra.

"Directives de qualité pour l'eau de boisson" (Directivas de calidad para el agua de bebida), Vol. 2. Criterios de sanidad y demás documentación de apoyo, O.M.S. Ginebra (próxima publicación).

"Directives de qualité pour l'eau de boisson" (Directivas de calidad para el agua de bebida), Vol. 3. Control de la calidad del agua de bebida destinada al abastecimiento de pequeñas colectividades, O.M.S. Ginebra (próxima publicación).

"Disinfection of rural and small-community water supplies" (Desinfección de suministros de agua en el medio rural y en pequeñas colectividades), 1989, Medmenham, Centro de Investigación de Agua, O.M.S. Copenhague.

Otros documentos técnicos:

"Drinking Water and Health" (Agua de bebida y salud), Academia Nacional de Ciencias, 1989, Washington DC, USA, Volumen 1.

"Microbiologie des eaux d'alimentation" (Microbiología de las aguas de alimentación), C. Haslay, H. Leclerc, 1993, Tech y Doc Lavoisier Ed, París.

"Mémento technique de l'eau" (Manual técnico del agua), 1989, Ed. Degremont Lavoisier, París.

agua

La desinfección del agua

Anexo Técnico

Sumario

Las diferentes formas comerciales del cloro

Ejemplos de la aplicación de la desinfección con cloro

Método de determinación del cloro residual

Niveles guía para los subproductos de la desinfección

Las diferentes formas comerciales del cloro

Los productos disponibles para realizar la desinfección del agua con cloro son:

- ▷ cloro gaseoso,
- ▷ el hipoclorito de sodio o lejía,

- ▷ el hipoclorito de calcio,
- ▷ la preparación sobre el terreno de cloro mediante electrólisis de una solución de cloruro de sodio (electrocloración).

La elección de uno u otro de estos productos irá en función de diversos parámetros:

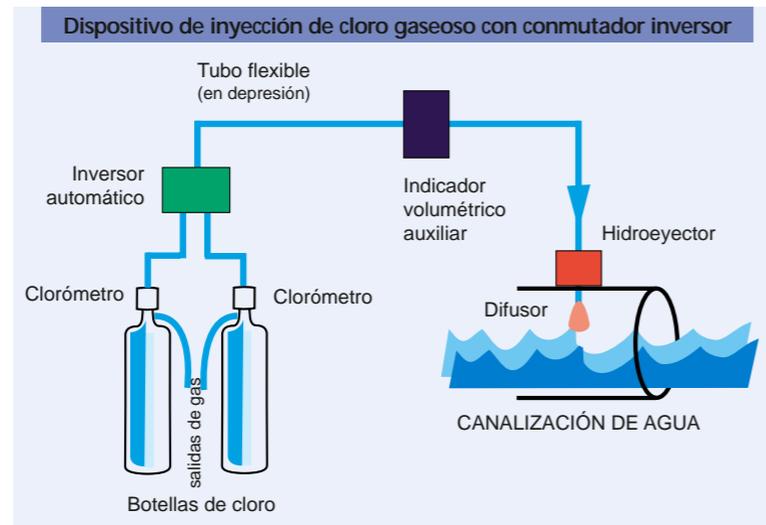
- ▷ cantidad necesaria de reactivo,
- ▷ posibilidad de abastecimiento,
- ▷ facilidad de operación,
- ▷ seguridad (riesgos relativos al almacenamiento y a las manipulaciones),
- ▷ costo.

Las diferentes formas comerciales del cloro

	Forma en que se presenta el producto	Contenido de cloro	Estabilidad en el tiempo	Seguridad
Cloro gaseoso	Gas licuado a presión	99%	Muy buena. Tener mucho cuidado con las fugas	Gas muy tóxico
Hipoclorito de sodio	Solución líquida amarilla	Máximo 15%	Pérdida mensual del 2 al 4 %. Pérdida aún mayor si la temperatura supera los 30° C.	Líquido corrosivo, contiene sosa.
Hipoclorito de calcio	Sólido blanco	Del 60 al 70 %	Pérdida anual del 2 al 2,5 %.	Corrosivo. Posible inflamación en caso de contacto con ciertos materiales.
Electrocloración chlorung	Solución NaCl	De 1 a 3 g/l tras electrodiálisis	Muy grande como NaCl	

El cloro gaseoso

El cloro gaseoso se almacena en forma de líquido en un recipiente de acero (botella o tanque). En la mayoría de los casos, el cloro se trasvasa en fase gaseosa por depresión. Dicha depresión se crea mediante un hidroeyector que permite la toma del gas con toda seguridad. Sin embargo, se deben prever válvulas antiretorno para evitar retornos de agua, sobre todo en caso de parada de la instalación.



Anexo técnico

Normas de seguridad

El cloro es un gas altamente tóxico y corrosivo cuyo empleo **impone el cumplimiento de consignas de seguridad muy estrictas.**

Por ello, el almacenamiento y las intervenciones referentes al cloro gaseoso, están sujetos, en muchos países, a una reglamentación especial.

▷ En caso de incendio, evacuar prioritariamente los tanques o botellas, ya que su resistencia al calor

está garantizada hasta 88° C (30 bares).

- ▷ El acero se quema con el cloro. Por lo tanto, hay que evitar calentar los contenedores con una llama (no utilizar soplete para desbloquear o deshelar una válvula).
- ▷ El cloro húmedo es muy corrosivo: una fuga de cloro provocará una corrosión externa, mientras que una entrada de agua en una tubería que transporte cloro provocará una corrosión interna.
- ▷ Es obligatorio emplear máscaras

de gas durante la manipulación de los contenedores y en todos los lugares en que se almacene cloro. Las máscaras con cartucho sólo son de duración limitada.

- ▷ Hay que disponer en todo momento de un sistema de detección de fugas y de un stock de productos que neutralicen el cloro.
- ▷ Los materiales en contacto con el cloro presentan diversas resistencias a la oxidación. La tabla adjunta indica la resistencia para algunos materiales corrientes:

Resistencia de algunos materiales a las diferentes formas de cloro

	Acero blando	Acero inoxidable	Cobre	PVC	Teflón PTFE
Cloro gaseoso seco	Buena resistencia hasta 120°C	Buena resistencia hasta 150°C	Buena resistencia hasta 200°C	Buena resistencia hasta 40°C	Buena resistencia hasta 200°C
Cloro gaseoso húmedo	Resistencia nula	Resistencia nula	Resistencia nula	Buena resistencia hasta 40°C	Buena resistencia hasta 200°C
Cloro líquido	Buena resistencia	Buena resistencia	Buena resistencia	Resistencia nula	Resistencia aceptable

Los hipocloritos

La lejía o hipoclorito de sodio puede inyectarse directamente o previa dilución, para que el volumen bombeado permita ajustes precisos. El hipoclorito de calcio se debe poner en solución antes de su inyección. Es poco soluble: su solubilidad máxima es de 25 g/l a 20°C. Además, es muy lenta. Por ello, es necesario prever un tiempo de agitación suficiente. Si el agua utilizada en la dilución es rica en calcio, se producirá precipitación de carbonato cálcico y los lodos formados pueden perturbar los dispositivos de bombeo. Será conveniente asegurarse permanentemente de una correcta inyección del producto.

La inyección se realiza bien a partir de bombas dosificadoras o desde sistemas que aporten un volumen constante: recipiente de Mariott, por ejemplo.

Se puede utilizar un sistema de retroalimentación en función del caudal de agua que se va a tratar, del contenido residual fijado de antemano, o de ambos parámetros. Hay numerosos dispositivos, poco costosos relativamente, que permiten dicha retroalimentación.

Normas de seguridad

El hipoclorito de sodio es un producto muy alcalino que contiene sosa. Puede producir quemaduras en la piel y los ojos. Hay que protegerse, pues, mediante el uso de guantes y gafas.

¡Atención! No verter nunca ácido en una solución de lejía o de hipoclorito de calcio. Una mezcla con el ácido provoca la liberación de cloro gaseoso, gas tóxico que puede llegar a ser mortal.

El hipoclorito de calcio es un polvo irritante. Es conveniente mantener el producto lejos de fuentes de calor, de ácidos o de materias orgánicas oxidables. Estas sustancias pueden llegar a provocar, en efecto, incendios espontáneos.

Es un producto corrosivo. Es indispensable usar guantes y gafas durante la manipulación de este reactivo.

Anexo técnico