

# Tecnología en Breve

PUBLISHED BY THE NATIONAL ENVIRONMENTAL SERVICES CENTER

## Desinfección

### Resumen

La desinfección es un paso importante en asegurar que el agua sea segura para beber. Los sistemas de agua añaden desinfectantes para destruir microorganismos que puedan causar enfermedades en los seres humanos. Las Reglas de Tratamiento de Aguas Superficiales requieren que los sistemas públicos de agua desinfecten el agua obtenida de las fuentes de abastecimiento superficiales o de las fuentes subterráneas bajo la influencia de aguas superficiales.

Los métodos principales de desinfección son cloración, cloraminas, ozono y luz ultravioleta. Otros métodos de desinfección incluyen dióxido de cloro, permanganato de potasio y nano filtración. Puesto que ciertas formas de cloro reaccionan con el material orgánico presente naturalmente en varias de las fuentes de agua para formar subproductos químicos perjudiciales, la Agencia Americana de Protección del Medioambiente ha propuesto niveles máximos para estos contaminantes.

### La Desinfección Mantiene el Agua Sana

#### ¿Por qué Desinfectar el Agua Potable?

La desinfección mata o inactiva los organismos causantes de enfermedades en el abastecimiento del agua y debe proveer un 99.9 por ciento de inactivación de los quistes “*Giardia lamblia*” y virus entéricos con el objetivo de proteger la salud y cumplir con las regulaciones de la Agencia América de Protección del Medioambiente (EPA). Existen dos tipos de desinfección: desinfección primaria que alcanza el nivel deseado de microorganismos muertos o inactivados, mientras que la desinfección secundaria mantiene un desinfectante residual en el agua terminada que previene el rebrote de los microorganismos.

#### ¿Qué Regulaciones la Gobiernan?

La Regla de Tratamiento del Agua Superficial (RTAS) del EPA requiere desinfección en los sistemas que utilizan suministros de agua públicos ya sea de aguas superficiales o subterráneas bajo la influencia directa de aguas superficiales.

Incluso, tomando en consideración que algunos desinfectantes producen subproductos químicos, el objetivo dual de la desinfección es proveer el nivel requerido de destrucción de organismos y permanecer dentro del Nivel máximo de contaminantes (NMC) por la desinfección RTAS definida por EPA. En este

momento el NMC es definido sólo para Trihalometanos Totales y propuesto para una desinfección adicional de los subproductos.

#### ¿Cómo es Alcanzada la Desinfección?

Nuestro medioambiente natural contiene numerosos microorganismos. La mayoría de ellos no presenta dificultades. Sin embargo, algunos como la *Giardia lamblia* y varios virus - los cuales pueden estar presentes en los suministros de agua - son extremadamente dañinos y pueden causar enfermedades en los humanos. Estos organismos causantes de enfermedades son conocidos como patógenos.

Debido a que los patógenos pueden estar presentes en los abastecimientos de agua potable, la desinfección es muy importante - EPA la requiere para aguas superficiales y aguas del subsuelo bajo la influencia de aguas superficiales. Los métodos de tratamiento por desinfección incluyen cloración, dióxido de cloro, cloraminas, ozono y luz ultravioleta.

Cuando se combina con tratamientos convencionales, como la coagulación, floculación, sedimentación y filtración, se han obtenido buenos resultados. La filtración directa, filtración lenta de arena y filtración con tierra de diatomeas, junto con la desinfección han sido todo un éxito.

# Comparando Desinfectantes:

## Clorinación (Gas)

A presiones normales, el cloro elemental es un tóxico, un gas amarillo-verde, y se hace líquido a presiones elevadas.

### VENTAJAS

El cloro es muy efectivo para retirar casi todos los patógenos microbianos y es apropiado para ambas, desinfección primaria y secundaria.

### LIMITACIONES

El cloro es un gas peligroso, el cual es letal a concentraciones tan bajas como 0.1 por ciento de aire por volumen.

### PROCESO

El gas de cloro es liberado por un cilindro de cloro líquido por reducción de presión y una válvula de control de flujo operando a una presión más baja que la presión atmosférica. El gas es conducido a un inyector en la tubería de agua de abastecimiento donde agua a muy alta presión pasa a través de un orificio de venturi creando vacío que arrastra al cloro hacia la corriente de agua. Luego de la inyección, se debe proporcionar una mezcla y tiempo de contacto adecuado para asegurar una desinfección completa de patógenos. Puede ser necesario controlar el pH del agua.

### EQUIPO

Un sistema básico consiste en un cilindro de cloro, un regulador de vacío de gas de cloro montado en un cilindro, un inyector de gas de cloro y un tanque de contacto o tubería (Ver diagrama A), las regulaciones estatales y/o prudencia pueden requerir que un cilindro secundario y un regulador a gas sean proporcionados con una válvula de cambio para asegurar la continuidad de la desinfección. Adicionalmente se podrá requerir seguridad y ciertas características de control.

Un clorinador de gas debe ser instalado en un cuarto o cámara con un acceso directo de emergencia hacia el aire exterior y ajustado con un sistema de ventilación de extracción.

Las regulaciones federales y estatales deben ser tomadas en cuenta. Se debe disponer preferentemente en el sitio de un aparato de respiración a un tiempo y/o distancia razonable.

### QUÍMICOS

El gas de cloro es administrado como líquido en cilindros de alta presión.

## Cloración (Solución de Hipoclorito de Sodio)

El hipoclorito de sodio se encuentra disponible en solución en concentraciones desde 5 a 15 por ciento de cloro, pero resulta más caro que el gas de cloro (como cloro disponible).

### VENTAJAS

El hipoclorito de sodio es más fácil de manejar que el cloro gaseoso o hipoclorito de calcio.

### LIMITACIONES

El hipoclorito de sodio es muy corrosivo y debe ser almacenado con cuidado y mantenido lejos del equipo que puede ser dañado por la corrosión. Las soluciones de hipoclorito se descomponen y no deben ser almacenadas por más de un mes. Debe ser almacenado en un área fresca, oscura y seca.

### PROCESO

La solución de hipoclorito de sodio es diluida con agua en un tanque mezclador/ de retención. La solución diluida es inyectada por una bomba química a la tubería de suministro de agua a un nivel controlado. Una mezcla adecuada y un tiempo de contacto debe ser proporcionado.

### EQUIPO

Un sistema básico de cloración líquido o hipoclorinador, incluye dos bombas de medición (una sirviendo como repuesto), un tanque de solución, un difusor (para inyectar la solución en el agua), y una tubería.

### QUÍMICOS

La solución de hipoclorito de sodio se encuentra fácilmente disponible.

El hipoclorito de sodio puede incluso ser generado in situ por electrólisis de la solución de cloruro de sodio en un equipo especializado. Las únicas fuentes requeridas son sal común y electricidad. El hidrógeno es emitido como subproducto y debe ser dispersado con seguridad.

## Cloración (Hipoclorito de Calcio sólido)

El hipoclorito de calcio es un sólido blanco que contiene 65 por ciento de cloro disponible y se disuelve fácilmente en agua.

### VENTAJAS

Cuando se encuentra empaquetado, el hipoclorito de calcio es muy estable, permitiendo que el abastecimiento de un año sea comprado en una sola ocasión.

### LIMITACIONES

El hipoclorito de calcio es un material corrosivo con un olor fuerte que requiere un manejo apropiado. Debe ser mantenido lejos de los materiales orgánicos tales como madera, ropa y productos del petróleo. Las reacciones entre el hipoclorito de calcio y el material orgánico pueden generar suficiente calor para causar fuego o explosión. El hipoclorito de calcio absorbe fácilmente la humedad, formando gas de cloro. Por lo tanto, los contenedores usados durante su transportación deben ser vaciados completamente o resellados cuidadosamente.

### PROCESO

El hipoclorito de calcio puede ser disuelto en un tanque mezclador/ de retención e inyectado de la misma forma que el hipoclorito de sodio. Alternativamente, donde se puede bajar la presión hasta la presión atmosférica, como en un tanque de almacenamiento, las tabletas de hipoclorito pueden ser directamente disueltas en el agua que fluye libre por un dispositivo propio que proporciona una cloración de flujo proporcional con una alimentación por gravedad de las tabletas.

### EQUIPO

El equipo utilizado para mezclar la solución e inyectarla dentro del agua es el mismo que el utilizado por el hipoclorito de sodio. Las soluciones de 1 o 2 por ciento de cloro disponible pueden ser entregadas por una bomba métrica tipo diafragma de alimentación química o por clorinador de tableta.

### QUÍMICOS

El hipoclorito de calcio puede ser comprado en forma granular, polvo o en tabletas.

Todo cloro añadido al agua potable debe cumplir con el Instituto Nacional Americano de Estándares (ANSI), y NSF Internacional, antes Fundación Nacional de Sanidad, estándares. *ANSI/NSF Estándar 60: Químicos de Agua Potable- Efectos sobre la Salud*, cubre los químicos utilizados en el tratamiento de agua.

## Cloramina

Las cloraminas son formadas cuando el agua conteniendo amoníaco es clorada o cuando el amoníaco es añadido al agua conteniendo cloro (hipoclorito o ácido hipoclorhídrico).

### VENTAJAS

Es un efectivo bactericida que emite pocos subproductos de desinfección, la cloramina es generada en la planta. Usualmente, las reacciones de formación de cloramina se completan en un 99 por ciento en pocos minutos.

### LIMITACIONES

La cloramina es un desinfectante débil. Es mucho menos efectivo contra virus o protozoos que el cloro libre. La cloramina es apropiada para el uso como desinfectante secundario para prevenir el rebrote bacterial en un sistema de distribución. El tri cloruro de nitrógeno parece ser la única reacción perjudicial. Puede ser dañina para los seres humanos e imparte un sabor desagradable y olor en el agua. El uso de cantidades apropiadas de cada químico reactante evitará esta producción.

### PROCESO

El cloro (solución gaseosa o hipoclorito de sodio) es inyectado en la tubería de abastecimiento seguido inmediatamente por una inyección de amoníaco (solución gaseosa o como hidróxido de amoníaco). Como se mencionó anteriormente, una adecuada mezcla y un tiempo de contacto, deben ser proporcionados. La mezcla de productos resultantes se combinan con agua, cloro y amoníaco, dependen del ratio entre el cloro, el amoníaco y del pH del agua. Los ratios de cloro-amoníaco de 5:1 no deben ser excedidos. Si el pH cae por debajo de 5, se pueden formar algunos tri cloruros de nitrógeno.

### EQUIPO

La generación de cloraminas requiere del mismo equipo que la cloración (hipoclorinación gaseosa u acuosa), más un equipo para añadir amoníaco (gaseoso u acuoso).

### QUÍMICOS

Los químicos utilizados para generar cloramina del amoníaco y cloro gaseoso, dependen del químico utilizado basado en amoníaco. El amoníaco anhidro es el más barato, mientras que el sulfato de amonio es el más caro.

## Ozonación

El ozono es un alótropo de oxígeno que contiene 3 átomos en cada molécula, es un poderoso oxidante y un agente desinfectante. Está formado pasando aire seco a través de un sistema de alto voltaje de electrodos.

### VENTAJAS

Requiere menor tiempo de contacto y dosificación que el cloro, el ozono es extensamente utilizado como desinfectante primario en varias partes del mundo – pero es relativamente nuevo en los Estados Unidos. El ozono no produce directamente materiales orgánicos halogenados, a menos que un ión de bromuro se encuentre presente.

### LIMITACIONES

El gas de ozono es inestable y debe ser generado en el sitio. Un desinfectante secundario, usualmente el cloro, es requerido debido a que el ozono no mantiene un residuo adecuado en el agua.

### PROCESO

Los cinco principales elementos de un sistema de ozonización son:

- Preparación del aire o alimentación de oxígeno;
- Abastecimiento de energía eléctrica;
- Generación de ozono – usualmente utiliza una célula corona de descarga que consiste en dos electrodos;
- Cámara de contacto de ozono; y
- Destrucción del gas de escape de ozono.

### EQUIPO

El equipo de ozonación incluye equipo de preparación del aire, generador de ozono, contacto, unidad de destrucción; e instrumentación y controles. Los costos de capital de los sistemas de ozonación son relativamente altos. La operación y el mantenimiento son relativamente complejos. La electricidad representa un 26 a 43 por ciento del total de los costos de operación y mantenimiento para los sistemas pequeños.

### QUÍMICOS

Para varias aplicaciones, el oxígeno puro es un gas alimentador de ozono más atractivo que el aire debido a:

- Tiene una densidad de producción más elevada,
- Requiere menos consumo de energía,
- Dobra la cantidad de ozono que puede ser generada por unidad, y
- Requiere volúmenes de gas más pequeños para la misma salida de ozono, por lo tanto reduce los costos del equipo auxiliar.

## Luz Ultravioleta (UV)

La radiación de luz ultravioleta es generada por una lámpara especial. Cuando penetra la pared de células de un organismo, el material genético de las células es interrumpido y la célula es incapaz de reproducir.

### VENTAJAS

La radiación UV destruye efectivamente bacterias y virus. El ozono como desinfectante secundario debe ser utilizado para prevenir rebrote de micro organismos. La radiación UV puede ser un desinfectante primario atractivo para sistemas pequeños debido a:

- Se encuentra disponible fácilmente,
- Produce residuos no tóxicos,
- Requiere de pequeños tiempos de contacto,
- El equipo es fácil de operar y mantener.

### LIMITACIONES

La radiación UV no puede inactivar Giardia lamblia o quistes de Cryptosporidium, y debe ser utilizado solo por sistemas de agua del subsuelo no directamente influenciados por agua superficial – donde virtualmente no existe riesgo de contaminación de quistes del protozoario. La radiación UV no es apropiada para agua con niveles elevados de sólidos suspendidos, turbiedad, color o materia orgánica soluble. Estos materiales pueden reaccionar con la radiación UV o absorberla, reduciendo el funcionamiento de la desinfección.

### PROCESO

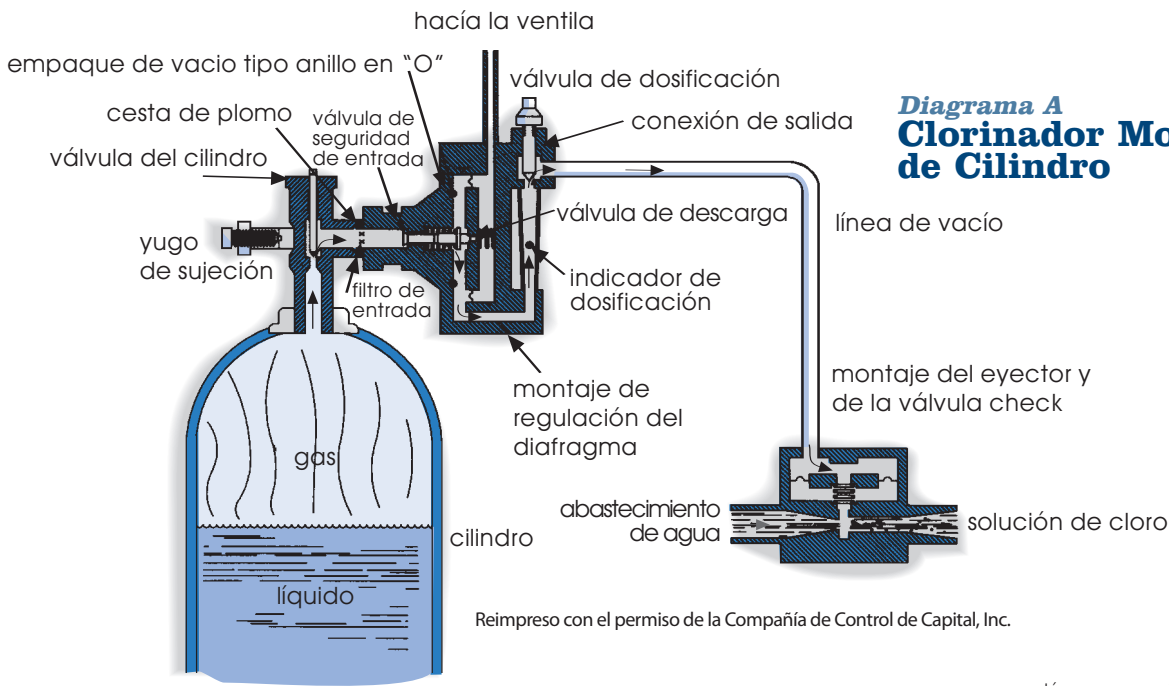
La efectividad de la desinfección por radiación UV depende de la dosis de energía absorbida por el organismo, medida como el producto de la intensidad de la lámpara (ratio al cual los fotones son distribuidos al objetivo) y el tiempo de exposición. Si la dosificación de energía no es lo suficientemente alta, el material genético de los organismos pueden ser sólo dañados en vez de ser destruidos. Para proveer de un factor de seguridad, la dosificación debe ser más alta que la solicitada para cumplir con los requerimientos de desinfección.

### EQUIPO

Lámpara UV y un reactor (Ver Diagrama B).

### QUÍMICOS

Ningún oxidante químico es requerido; por lo tanto, los microorganismos pueden ser matados sin generar subproductos de la oxidación química o de la halogenación.



**Diagrama A**  
**Clorinador Montado de Cilindro**

Los sistemas de agua subterránea que utilizan desinfección tienen que añadir filtración si el agua contiene hierro y manganeso. En efecto, los sólidos insolubles se forman cuando el cloro, el dióxido de cloro u ozono son añadidos a dichos sistemas. Ambos, ozonación y clorinación pueden causar floculación de los orgánicos disueltos, así se incrementa la turbidez y se hace necesaria la filtración. La efectividad de la desinfección es juzgada analizando un organismo indicador (bacteria coliforme total). Este organismo es considerado inofensivo. Pero su presencia indica que los patógenos pueden también haber sobrevivido.

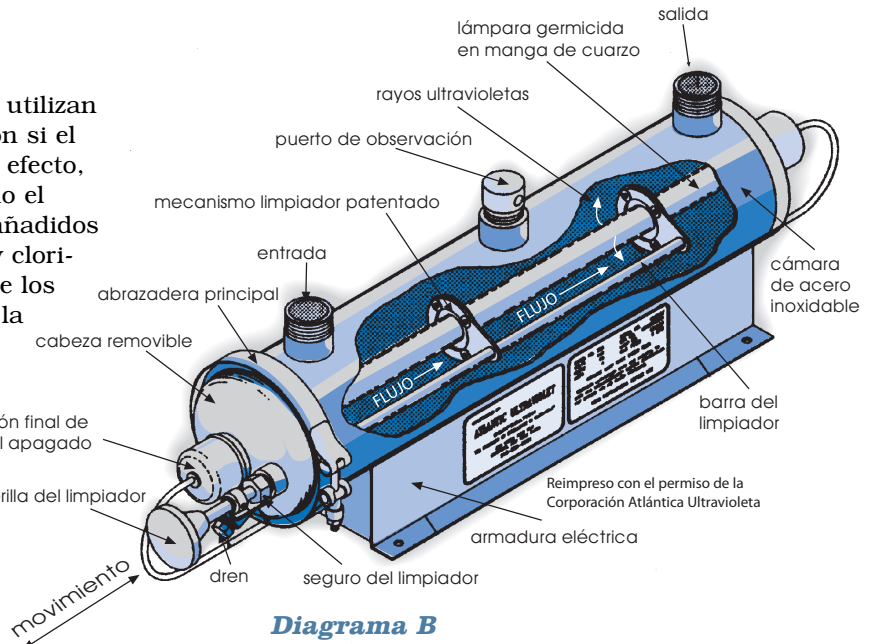
**Cómo Controla Usted los Subproductos de Desinfección?**

Un número de factores pueden afectar la formación de los subproductos de desinfección. Estos incluyen los tipos y concentraciones de materiales orgánicos presentes cuando el cloro es añadido, la dosificación del cloro, la temperatura y pH del agua, y el tiempo de reacción.

Para controlar la formación de subproductos halogenados (compuestos formados por la reacción de un desinfectante, como cloro con un material orgánico en el agua de abastecimiento) durante la clorinación, EPA ha identificado tres estrategias:

1. Eliminar los subproductos después de ser formados, lo cual puede ser difícil y costoso.

cuatro  
PÁGINA DE CUATRO



**Diagrama B**  
**Purificador Ultravioleta de Agua**

2. Utilizar desinfectantes alternativos que no produzcan subproductos indeseables, lo cual es a menudo la estrategia más efectiva en términos de costos.
3. Reducir la concentración de materia orgánica en el agua antes de la oxidación o clorinación para minimizar la formación de subproductos. Esto producirá el agua final de más alta calidad.

