



Desinfección de Agua Potable con Cloro y Dióxido de Cloro

Un bosquejo de diferentes métodos



por W. Roeske, C. Müller y Günzburg

Debido al turismo mundial y al contacto con potenciales áreas infestadas, nuestra agua potable está expuesta al peligro, en todo momento, de las higiene de epidemia. Mientras que en la mayoría de los países industrializados las epidemias causadas por agua contaminada disminuyeron inmediatamente después de la introducción de la desinfección del agua, el 80 por ciento de las enfermedades y epidemias en el 3^{er} Mundo son el resultado de pobres suministros de agua potable, de acuerdo a los estudios de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

La tarea de la desinfección del agua potable es la eliminación de las bacterias patógenas y la inactivación de los virus patógenos. En la práctica, la cloración ha probado—a la fecha—ser un método confiable de desinfección en los tratamientos de agua potable y de exitosamente evitar la reaparición de bacterias en las tuberías. En todo lugar en que la cloración ha sido usada para la desinfección, ya no han vuelto a ocurrir las severas epidemias debidas al agua potable contaminada.

Para la desinfección del agua potable, los siguientes desinfectantes pueden ser usados en Alemania, de acuerdo a la nueva Acta 2001 del agua potable: cloro gaseoso, hipocloritos de sodio y calcio, dióxido de cloro y ozono. El cloro gaseoso, el hipoclorito de sodio, el hipoclorito de calcio y el dióxido de cloro son especialmente convenientes como desinfectantes del agua potable. La tabla 1 muestra una lista de estos desinfectantes.

En lo que concierne a la importancia del agua como transmisora de infecciones, se dispone de un conocimiento bien fundado. Una gran cantidad de problemas es (que afectan especialmente al tracto gastrointestinal) pueden ser transmitidos por la vía del agua potable. Estos incluyen la tifoidea, paratifoidea, cólera, diarrea con vómito, shigelosis, leptospirosis y lombrices, así como problemas causados por virus, como la hepatitis.

Sistemas de dosificación de cloro gaseoso

Hoy en día, todos los cloradores operan generalmente bajo el principio de vacío total y solamente son usados para la cloración directa. En el tratamiento de agua, cloración indirecta significa que una solución de cloro es producida en sitio utilizando cloro gaseoso y agua. Esta solución sirve como desinfectante.

Desde la introducción de cloradores al vacío total, las objeciones en contra del uso del cloro gaseoso, con respecto a la seguridad, han ido a menos.

Vacío total significa que existe un vacío en toda la instalación, por ejemplo: desde el cilindro de cloro, hasta el punto de inyección. Afortunadamente no puede haber una fuga de cloro en caso de una falla, ni desde el suministro de cloro ni por la línea que va al inyector. Una fuga sólo ocasionará que el aire entre al sistema, de modo que el riesgo de que el cloro gaseoso se escape, queda

excluido. Así, el principio de vacío total es garantía de óptima seguridad.

Iniciando desde la válvula que se conecta al cilindro, la presión del cloro gaseoso en el cilindro, es reducida desde aproximadamente 6 bar hasta un vacío de 850 mbar abs. De esta forma se asegura que no habrá escape de cloro gaseoso, en el caso de una fuga, o incluso por la ruptura de una línea. Mediante una unidad de cambio automático de cilindro es posible cambiar de cilindros vacíos a llenos, asegurando una dotación ininterrumpida de cloro gaseoso. Como equipo adicional en las salas donde el cloro se almacena ya medido, se debe proveer la instalación de un detector de fugas.

Preparación y medición de un sistema de hipoclorito de sodio

En la cloración de los volúmenes más pequeños de agua, se puede usar hipoclorito de sodio para la desinfección del agua potable. Se dispone comercialmente como una solución al 150-170 g/l de cloro efectivo y puede ser adquirido desde los proveedores químicos. Estas soluciones de hipoclorito se pueden almacenar sólo por un período de tiempo limitado. Se descomponen gradualmente y el grado de cloro efectivo disminuye. La descomposición se acelera por la exposición a la luz, el calor y por impurezas tales como las trazas de metal. La mayoría de las bombas de diafragma, con "degas", que son controladas por un sistema automático de medición de residual y de control, dosifican

Tabla 1. Desinfectantes para el agua potable

Desinfectante	Notación química	Estado de agregación	Características comerciales / Características de aplicación
Cloro gaseoso	Cl ₂	Gaseoso	Licuo en cilindros de acero de 50kgs y 65 kgs ó tanques de acero de 500 kg o 1,000 kg; términos de embarque de acuerdo a la DIN EN 937 Φ 99.5% Cl ₂ máx., 20 ppm H ₂ O, adición como soluciones acuosas con 0.3-3 g/L Cl ₂ o producido en sitio por electrólisis por medio de cloruro de sodio o ácido clorhídrico.
Hipoclorito de sodio	NaClO ₂	Líquido, como solución acuosa	Solución comercial con 150-170 g/L de cloro efectivo, la solución de hipoclorito de sodio contiene aprox. 12 g/L de sosa cáustica y por consiguiente es fuertemente alcalina, valor de pH de 11.5-12.5; términos de embarque de acuerdo a la DIN EN 901, contiene como subproducto aprox. 140 g/L de cloruro de sodio (NaCl) y aprox. 5 g/L de clorato de sodio (NaClO ₃) así como bromato, es difícil de almacenar, se descompone. o Producido en sitio por electrólisis por medio de una solución de cloruro de sodio. Concentración efectiva en la solución de 8.25 g/L dependiendo del proceso de electrólisis. La solución de hipoclorito producida por medio de la salmuera tiene un valor de pH de 9-10.
Hipoclorito de calcio	Ca(ClO) ₂	Sólido	Comercialmente disponible en polvo, gránulos o tabletas; términos de embarque según la DIN EN 900, el hipoclorito de calcio debe contener un mínimo de 65% de cloro activo, además contiene 4-7% de sustancias no solubles en agua y un mínimo de 5% de H ₂ O, se usa como solución al 1-5%, el valor de pH de la solución es 10-11.
Dióxido	ClO ₂	Líquido como	Generado en sitio por medio de cloro gas y solución de clorito de sodio o por medio de ácido de cloro solución acuosa clorhídrico y solución de clorito de sodio, la concentración de la solución es de 0.5-4.0 g/l ClO ₂ .

el reactivo directamente en el flujo del agua.

Las desventajas del limitado tiempo de almacenamiento, pueden excluirse produciendo directamente la solución, en el sitio de uso. Aquí se preparan soluciones de una más baja concentración, que son consumidas sin tiempos intermedios de almacenamiento tan largos. Para su producción, son más convenientes los sistemas electrolíticos de cloración en sitio, ya sea por electrólisis de celda tubular ó electrólisis de membrana.

Los procesos de membrana de los sistemas modernos de cloración electrolítica, operan como sigue: Como en todos los electrolizadores, la celda electrolítica es el corazón del sistema. Consiste de un compartimento de ánodo y cátodo, separados por una membrana. Electrodo recientemente desarrollados, especialmente cubiertos, combinados con un sistema integral para la limpieza de la membrana, aseguran la larga vida de servicio de las celdas.

Una solución saturada de salmuera es alimentada desde el tanque de disolución dentro del compartimento del ánodo. El compartimento del cátodo se alimenta con agua suavizada. El agua es reducida a iones OH e hidrógeno gaseoso(H₂), en el

compartimento del cátodo, mientras los iones cloruro (Cl⁻) son oxidados para formar cloro gaseoso (Cl₂) en el compartimento del ánodo. Los iones de sodio pasan del compartimento del ánodo a través de la membrana, dentro del compartimento del cátodo para formar hidróxido de sodio (NaOH) con los iones OH. Una de las características especiales de esta tecnología es que la débil salmuera que abandona el compartimento del ánodo es circulada junto con el cloro—brevemente llamada anolito—en un circuito cerrado. El circuito cerrado consiste del separador de la celda del electrolizador y del cloro. Al contrario de los procesos convencionales—normales de membrana, la salmuera débil no es regresada al tanque de disolución de la sal. De esta manera, el cloro no puede entrar al tanque de disolución de sal ni escapar de allí, como gas, hacia el aire ambiental. No se necesita de una corrección de pH con hidróxido de sodio, requerida en los procesos normales de membrana. En la celda del electrolizador, el hidróxido de sodio y el cloro son generados a una proporción molar de 1:1. Los productos son pasados al reactor—sin mayor trámite. En el reactor, el hidróxido de sodio y el cloro gaseoso finalmente reaccionan para formar hipoclorito de sodio. Mediante dos

cambiadores de calor—en el circuito del anolito y en el reactor—se recupera una parte de la energía. La solución de hipoclorito de sodio abandona el reactor con una concentración de cloro de 25 g/l a 25°C máx., y es descargada en el tanque de suministro. La solución generada de hipoclorito de sodio se caracteriza por su excelente estabilidad y es dosificada directamente desde el tanque de suministro al agua en tratamiento. El taponamiento de la garganta del inyector, por precipitación de las durezas, puede evitarse usando una garganta de inyección de diseño especial. El sistema montado en su totalidad en patín, está construido a modo de conformar una unidad muy compacta con SPC, suavizador de agua y rectificador, como módulos funcionales, y está protegido de accesos indeseados por la cubierta de un bloque celular.

Otro proceso de electrólisis de membrana que produce ácido hipocloroso directamente del ácido clorhídrico, opera como sigue: El ácido clorhídrico diluido es convertido en cloro (Cl₂) e hidrógeno (H₂) por electrólisis. A la salida de la celda del Electrolizador, el cloro es descargado en una línea de desviación de agua potable y queda disponible de inmediato como solución de ácido hipocloroso. El agua

de derivación es después regresada a la corriente principal. El hidrógeno separado es descargado, por una línea, al cielo abierto. Para la formación del ácido hipocloroso, normalmente se usa ácido clorhídrico diluido al 9 por ciento o al 18 por ciento.

Sistema de dosificación de hipoclorito de calcio

El hipoclorito de calcio es un compuesto sólido de cloro, disponible en el comercio en forma de tabletas o de gránulos. Para preparar una solución medidora, se usan sólo gránulos del 65 al 75 por ciento de cloro efectivo, dependiendo del producto.

Deben utilizarse tanques de disolución y medición, de fondo inclinado, en la preparación de la solución medidora, ya que el hipoclorito de calcio contiene cerca de un 10 por ciento de materiales no solubles. Estos se depositan en el fondo inclinado de los tanques, y después de un tiempo de asentamiento de unos 30 minutos, se obtiene una solución clara de hipoclorito de calcio, con la cual se puede llenar el tanque de suministro. Para su dosificación se prefieren bombas de diafragma, que son controladas por un sistema automático de medición y control.

Dióxido de cloro

Se sabe que desde 1974 que, durante la cloración del agua potable, los trihalometanos (haloformes) pueden ser producidos por una reacción secundaria. Los trihalometanos pueden formarse de existir materias húmedas que son halogenadas por la adición de cloro. Como los trihalometanos (THM) no son deseables en el agua potable, se define su límite a 0.05 mg/l, en el Acta del Agua Potable.

Para la formación de trihalometanos (THM) son importantes tanto la cantidad de cloro usada, como el tiempo de reacción. Por un preciso control de la cloración y la observación de ciertas condiciones de reacción, la reacción de cloración puede ser eliminada. Si aún fuera excedido el valor límite de los 0.05 mg/l, el dióxido de cloro (ClO_2) debe ser usado en lugar del cloro. Con el ClO_2 no se forman los THM's; además el dióxido de cloro tiene otras ventajas. Las sustancias que producen olor y sabor en el agua, causadas por ejemplo por fenoles, algas o sus productos de descomposición, pueden ser modificadas por el dióxido de cloro, de modo que posteriormente ya no puedan ser organolépticamente percibidas.

Al contrario del cloro, el ClO_2 no forma

los clorofenoles de desagradable olor en combinación con los fenoles. Algunas veces el agua a ser desinfectada contiene amoníaco, el cual puede afectar la desinfección con el cloro. En estos casos, se recomienda el uso del dióxido de cloro, ya que no reacciona con el amoníaco ni con otros compuestos nitrogenados.

El hierro bivalente y el manganeso son oxidados por el dióxido de cloro, ya que el dióxido de cloro ataca también a las sustancias orgánicas complejas. El efecto esporicida y virucida del dióxido de cloro se compara mejor con el cloro a la misma concentración. Como el dióxido de cloro tiene propiedades desinfectantes a pH's de 8-9, es apropiado para la desinfección del agua a los valores de pH más altos. Esta es una ventaja mayor del dióxido de cloro en relación al cloro, puesto que el efecto desinfectante del cloro decrece al aumentar el pH.

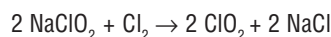
El dióxido de cloro es muy estable en el agua. Después de completarse su consumo, se puede mantener un residual por un período de tiempo más largo, de modo que aún en el caso de sistemas de distribución extendidos, se asegure una concentración activa incluso en lugares remotos y se pueden evitar con efectividad los recrecimientos bacterianos.

Dadas sus propiedades físicas y físico-químicas, el dióxido de cloro es sólo generado en sitio, como solución acuosa, por el uso de equipo especial. El dióxido de cloro es producido ya sea por medio de clorito de sodio y cloro como activador o por medio de clorito de sodio y un ácido—preferentemente el clorhídrico.

Se dispone de los generadores de dióxido de cloro en diferentes gamas de capacidad: de 5 a 250 g/h ClO_2 , hasta los sistemas para producir hasta 5 kg/h de dióxido de cloro.

Sistema de dióxido de cloro tipo clorito/cloro

Una solución de clorito y cloro gaseoso se usa como producto básico en la preparación de dióxido de cloro por el proceso clorito/cloro. La generación se lleva a cabo de acuerdo a las siguientes reacciones:



Clorito de sodio + cloro gaseoso \rightarrow dióxido de cloro + cloruro de sodio

Para producir 1,000 g de ClO_2 , se requieren, teóricamente, 1,240 g de NaClO_2 y 555 g de Cl_2 .

Para producir la concentración requerida de solución de cloro de 3.5 g/l mín., se necesita un suministro de agua de proceso, con suficiente presión inicial. La capacidad de agua en l/h se ajusta con precisión en el rotámetro y es regulada eléctricamente por un contacto de lengüeta. La correspondiente capacidad de cloro en g/h es ajustada en todos los cloradores al vacío total y controlada por el interruptor de vacío. Con la alta concentración de cloro de 3.5 g/l, se prepara una solución de cloro fuertemente ácida, al tiempo que la solución de clorito de sodio es cebada desde su tanque de descarga (300g/l) mediante una bomba dosificadora y es mezclada con la solución de cloro directamente antes de entrar a la torre de reacción. La solución de dióxido de cloro es diluida con agua, antes de pasar al tanque de almacenamiento. La cantidad de agua agregada depende de la concentración deseada en la aplicación de dióxido de cloro, que por razones de seguridad, deberá ser menor de 4 g/l de ClO_2 . Preferentemente debe seleccionarse una concentración de 2 g/l de ClO_2 y el flujo de agua de dilución requerido debe ser ajustado con precisión en el rotámetro.

Todas las funciones del generador totalmente automático, son controladas por una caja de control equipada con un diagrama de bloques, en mímica. Una falla del módulo será indicada en la mímica del diagrama, el sistema será puesto en paro y un mensaje de error será enviado.

Sistema de dióxido de cloro—clorito/ácido clorhídrico

Además, el dióxido de cloro puede ser producido por clorito de sodio ácido clorhídrico, utilizando soluciones comerciales. La generación se lleva a cabo de acuerdo a la siguiente reacción química :



clorito de sodio + ácido clorhídrico \rightarrow + dióxido de cloro + cloruro de sodio + agua.

Para producir 1,000 g de ClO_2 , teóricamente se requieren 1,676 g de NaClO_2 y 540 g de HCl.

La solución de dióxido de cloro, es generada por el siguiente proceso, de las soluciones diluidas: La solución de clorito de sodio (7.5 por ciento) y de ácido clorhídrico (9 por ciento), son aportadas, cada una, por

su bomba dosificadora de diafragma desde tanques normales de carga o de almacenamiento y descargadas dentro de la torre de reactivo. La dosificación exacta de los dos reactivos básicos es monitoreada y controlada por dos sensores de flujo. El exceso de ácido clorhídrico en el reactor, asegura una alta reacción de descarga: clorito → dióxido de cloro. La solución de dióxido de cloro producida después de un tiempo definido de reacción de cerca de 15 minutos, en operación continua, tiene una concentración de 20 g/l de ClO_2 . La solución es agregada al agua de proceso y después pasada a un mezclador estático. Subsecuentemente el agua de proceso, ahora con una concentración de ClO_2 de 0.05-0.30 g/l, es descargada dentro de la corriente principal de nueva cuenta. El sistema es monitoreado y controlado en su totalidad por un SPC. Si el generador de dióxido de cloro va a suministrar varios puntos de aplicación, es también posible usar una operación al tandeo (batch).

El dióxido de cloro puede también ser generado desde soluciones concentradas. En este caso, se usa una solución de clorito de sodio al 24 por ciento y una de ácido clorhídrico al 33 por ciento. La dilución de la solución concentrada y la preparación de la solución de ClO_2 , se lleva a cabo, de la manera siguiente: La solución de clorito de sodio y el ácido clorhídrico es cebada mediante un inyector y simultáneamente mezclada y descargada en el reactor. La solución de ClO_2 con una concentración de 15-20 g/l-preparada en el reactivo diluida subsecuentemente a 2-3 g/l de ClO_2 y pasada al tanque de tandeo. Debido al monitoreo especial tanto eléctrico como del proceso, queda garantizada la seguridad de la operación del sistema. La adición del agua siempre será requerida para mezclar las dos soluciones concentradas.

Sistemas de medición y control para la solución de cloro y de dióxido de cloro

Para adherirse a la concentración de cloro en el agua potable, prescrita por la ley, la cloración deberá adaptarse a la cantidad de agua y al consumo de cloro.

Para cloro, un máximo de 1.2 g/l es lo prescrito. Sin embargo, el valor de cloro no debe exceder 0.3 g/l en el punto de suministro dentro de la red del agua potable.

Un máximo de 0.4 g/l de dióxido de cloro debe ser agregado al agua potable. En el caso de un agua correctamente tratada, 0.15-0.20 mg/l normalmente es suficiente. En general,

la cantidad agregada deberá ser ajustada y minimizada a la aplicación individual. Los siguientes, son los posibles modos de control:

- La dosificación como una función de la cantidad, si el consumo de cloro por el agua es constante y el suministro del agua es variable. La cantidad de solución de cloro o de dióxido de cloro agregada depende del flujo del volumen total del agua y es controlado por una señal de flujo análoga o digital.

- La dosificación depende del valor del residual medido, si el suministro del agua es constante pero varía el consumo de cloro/dióxido de cloro. La cantidad de cloro o dióxido de cloro que debe agregarse es determinada por la concentración medida. En este caso deberá ser conectada una señal de control externo. Una medición precisa del nivel de cloro/dióxido de cloro es una condición para la dosificación automática, de acuerdo al valor del residual. Un sistema automático de dosificación cloro/dióxido de cloro sólo opera satisfactoriamente si las mediciones son fieles, continuas y suficientemente sensitivas. En la práctica, es importante que el equipo de medición cloro/dióxido de cloro, suministre también valores exactos por más largos períodos de tiempo, sin mayores maniobras de mantenimiento. Un equipo de medición operando de acuerdo al principio de depolarización, y que incluya un sistema de limpieza para electrodo, ha comprobado ser confiable en la práctica.

- Dosificación por control combinado: El mejor y más preciso método para el control de la calidad del agua potable es el uso de las dos cantidades medidas (flujo de agua y residual de cloro/dióxido de cloro). Un control externo calcula una tasa de control como función de una cantidad a controlar (ejemplo: señal de flujo). Esta cantidad a controlar resulta en una constante cantidad medida, la cual es controlada, adicionalmente, en base a un valor previamente ajustado. (ejemplo: concentración de ClO_2).

La solución inicial de cloro o de dióxido de cloro en operación al tandeo, puede ser dosificada ya sea por bombas dosificadoras o por inyectores succionadores. En la práctica los inyectores han probado ser confiables en la dosificación de la solución de cloro/dióxido de cloro...ésto por la limitada vida de servicio de los diafragmas de las bombas dosificadoras.

La solución es inyectada por el inyector succionador, de la manera siguiente: El agua de proceso genera un vacío en el inyector (principio del venturi), con la ayuda del vacío, la solución de ClO_2 es extraída del tanque de

suministro mediante una válvula que controla el flujo, preconnectada a un rotámetro. El flujo a ser medido se ajusta en la válvula de control de flujo y puede ser leído desde el rotámetro. El flujo de la solución es controlado automáticamente como una función del volumen de agua o el residual de dióxido de cloro. En el inyector, la solución extraída de dióxido de cloro es mezclada con el agua y dosificada a través de la garganta de inyección, dentro del agua a ser tratada.

Programas remotos de diagnóstico permiten la intergración de los datos procesados y de las cantidades medidas dentro de sistemas de más alta visualización. Es también posible enviar mensajes definidos al usuario hacia cualquier medio, tal como el teléfono. El programa de diagnóstico remoto es configurado de acuerdo a las especificaciones del usuario.

Conclusión

Por muchas décadas, el cloro ha probado ser un agente extremadamente confiable para una desinfección segura.

Ya que—durante mucho tiempo—el cloro no ha podido ser reemplazado por un desinfectante más conveniente, la tecnología sistemática, a este medio, se ha desarrollado a la alta normatividad de los tiempos actuales, acatando cualquier requerimiento de seguridad.

Como resultado de la tecnología de control, medición y dosificación, el cloro puede ser usado a modo de que los valores límites, definidos en el Acta del Agua Potable, no sean excedidos, al mismo tiempo que se garantiza una segura desinfección.

En aquellos casos en que se formaran en el agua, sustancias de sabor indeseable combinadas con el cloro, se puede usar dióxido de cloro como alternativa. Además el ClO_2 posee la ventaja de asegurar la desinfección a altos valores de pH. Por lo consiguiente, el dióxido de cloro es más conveniente para la desinfección del agua, en la industria de alimentos y bebidas. □

Acerca de los autores

Autores: Ing. quí. dipl. Wolfgang Roeske, Dipl. BrM Christoph Müller, Günzburg. Para mayores detalles, referirse a: <http://brauwelt.de>—“Autorenverzeichnis”(lista de autores)

Visite

www.agualatinoamerica.com