

El diseño adecuado de instalaciones de cloración

RESUMEN

La desinfección del agua es un tratamiento obligatorio en los sistemas de abastecimiento de agua potable. Los equipos dosificadores de vacío ya se utilizaban en Cuba desde el año 1916. La expansión de este tratamiento en los años sesenta permitió establecer una cultura de las instalaciones de cloración y, con la aplicación de un programa nacional de abasto de agua al sector rural, se logró llevar las instalaciones funcionando a cerca de dos millares.

La existencia de este número elevado de instalaciones para la desinfección del agua en los acueductos demanda ya un procedimiento que permita que la selección de instalaciones de cloración asegure capacidades y funcionamiento adecuados. Los autores transmiten sus experiencias en la instalación, operación y mantenimiento de las unidades de cloración en sistemas de abasto para establecer pautas seguras en su diseño.

Se presentan las dos líneas tecnológicas principales utilizadas en Cuba: cloro gas e hipoclorito, con los elementos principales a considerar en su instalación y funcionamiento. Se incluyen las regulaciones para la manipulación y uso del producto, así como algunas recomendaciones para ampliar la capacidad de una instalación y la verificación del caudal tratado.



Ing. Francisco Rivera Díaz
Especialista del Grupo Empresarial de
Acueducto y Alcantarillado (GEAAL)
E-mail: rivera@geaal.co.cu

M. Sc. Ing. Odanel Rodríguez Hernández
Especialista del Grupo Empresarial de
Acueducto y Alcantarillado (GEAAL)
E-mail: odanel@geaal.co.cu



► 1 INTRODUCCIÓN

Noventa años han transcurrido desde que fue instalado en Cuba, en la estación de Vento del acueducto de Albear, el primer “novísimo aparato” que desinfectaba el agua utilizando como producto el gas cloro, menos de tres años después de iniciada la comercialización de esos equipos.

Sin embargo, esta introducción temprana

de las técnicas más avanzadas para desinfección no fue extendida apreciablemente hasta los años 50 (estimulada por la nueva planta electroquímica en Sagua la Grande en el año 1945) y, en dos saltos exponenciales sucesivos, en los 80 y a finales del pasado siglo, hasta llegar a las 1 999 instalaciones actualmente funcionando.

Uno de los resultados de tal transferen-

cia tecnológica ha sido la creación de una cultura extendida en cloración. Ya a principios de los años 60 existía en La Habana un taller central para la instalación y reparación de equipos y se fomentaba las primeras brigadas especializadas. La instalación de los equipos existentes en esa época, cloradores de solución y de vacío y los dosificadores de pistón para solución de hipoclorito había sido tipificada, así como el empleo de los materiales y tipos de accesorios. Sin embargo, las especificaciones para el diseño se encontraban aún bastante relegadas, considerando que existía una capacidad de montaje confiable para asumir el montaje de las instalaciones.

La extensión y desarrollo de los sistemas de acueducto y dentro de ese programa el establecimiento de estructuras empresariales que regulan sus procedimientos de trabajo, encontraron que las regulaciones ya establecidas desde los años 60 eran ya insuficientes, desconocidas o incumplidas. Para restablecer las especificaciones técnicas para estas instalaciones se está elaborando un conjunto de regulaciones para el montaje y uso de instalaciones de cloración en los sistemas de acueducto.

2 ALCANCE

La instalación de cloración, sea que emplee cloro gas como solución de hipoclorito, consta de tres componentes básicos: el depósito de producto, un dosificador y el equipo impulsor. Este esquema resulta bien identificable en una unidad de cloro gas pero en la de hipoclorito se presentan dos variantes:

- Existen al menos dos depósitos, uno para producto y otro para la solución a aplicar.
- La bomba dosificadora y el equipo impulsor forman una sola unidad.

Teniendo en cuenta este esquema de instalación se puede establecer en él las especificaciones para:

- a) el equipo dosificador: capacidad, montaje, instalación de las líneas auxiliares,
- b) los depósitos, su almacenamiento y manipulación,
- c) las comprobaciones y ajustes a realizar en la instalación,
- d) las medidas para la protección y la seguridad de la instalación,

que puedan ser ordenadas como una guía adecuada para el diseño, instalación y supervisión de estas instalaciones.

3 LA INSTALACIÓN DE CLORO GAS

Un esquema sencillo de una instalación de cloro gas puede ser visualizado en la figura 1.

3.1 Selección del dosificador

El llamado equipo clorador es esencialmente un aparato regulador de vacío y medidor del gasto de gas cloro. La dosificación se realiza realmente en un eyector donde se mezcla agua a presión y este gas regulado.

¿Cómo se determina la capacidad de un clorador de gas?

La capacidad del dosificador de cloro gas es el cálculo más frecuente y casi el dato único que se utiliza para la selección del equipo a instalar.

No existe una dosificación expresa de cloro para desinfectar el agua, a menos que se realicen comprobaciones previas sobre remoción efectiva de organismos.

La regulación para acueductos sólo establece que el cloro mínimo en red de distribución es de 0,3 mg/l. Por otra parte, la práctica reconoce que una dosis de 1 mg/l en aguas naturales limpias demuestra ser efectivo y que la presencia de más de 2 mg/l en agua de consumo presenta objeciones fuertes de parte de los clientes.

El cálculo de la dosis a aplicar y, por tanto de la capacidad del aparato clorador se efectúa de la forma siguiente:

- a) Cantidad de agua a tratar en operación normal.
- b) Capacidad para extremos de dosificación.
- c) Ajuste por Ct
- d) Rango de trabajo preciso del aparato.

a) Dosis para operación normal (q_1):

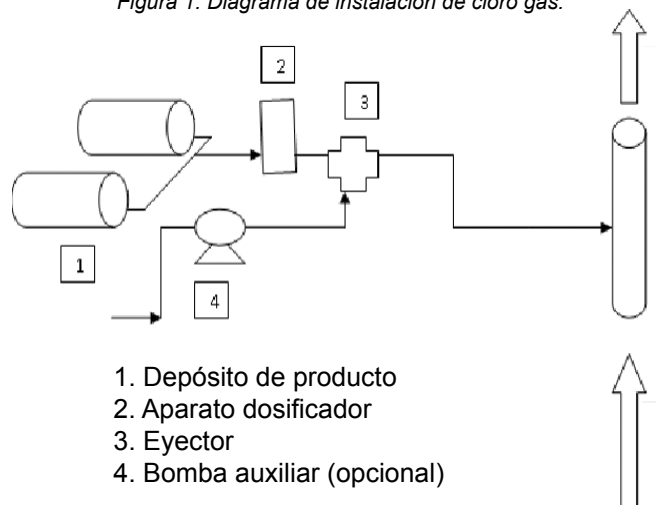
La dosis de cloro (c) a aplicar se toma en la práctica de la forma siguiente:

- 1 ppm (1 parte de cloro activo en 1 millón de partes de agua, o sea, $1 \text{ mg/l} = 1 \text{ g/m}^3 = 1 \text{ kg/mil m}^3 = 1 \text{ t/millón m}^3$) cuando se trata de agua subterránea limpia en poblaciones pequeñas o medianas.
- 1,5-2,0 ppm en agua subterránea limpia, en sistemas de acueducto de ciudades.
- 2,0-5,0 ppm para agua superficial con pos y precloración, respectivamente.

Esto da que:

$$q_1 = Q(\text{mil m}^3/\text{h}) \times c(\text{kg/mil m}^3) \text{ kg/h}$$

Figura 1: Diagrama de instalación de cloro gas.



b) Capacidad para situaciones extremas

La aparición de condiciones de trabajo anormales pueden aparecer debido a variaciones bruscas y controlables en las características del agua y, más habitualmente, en la mitigación de brotes de enfermedades transmisibles por el agua.

Esta capacidad de dosificación se deja como remanente del equipo aunque cuando exceda al 30 % es preferible la instalación de un segundo equipo (que no es el de reserva para roturas).

El primer ajuste nos da : $q_2 = 1,3 q_1$

c) Ajuste por Ct

El factor Ct se emplea hace más de veinte años en la determinación del poder bactericida de un desinfectante y es el producto de la dosis o concentración por el tiempo de contacto del desinfectante con el agua. Quiere esto decir que la dosificación de desinfectante puede variarse según sea el tiempo de contacto.

Este factor se encuentra en las referencias bibliográficas, pero es variable para cada acueducto, por lo que aún queda por hacer precisiones sobre su uso.

En la práctica de ingeniería, solo se ha llegado al tanteo de que cuando el tiempo de contacto exceda de una hora puede reducirse la dosis de cloro y que debe aumentarse si es menor de 30 minutos, siempre que se mantengan residuales mínimos de cloro en red de 0,3 mg/l o más.

d) Rango de precisión del aparato

La exactitud del producto aplicado por un equipo es más precisa en el rango de escala alejado de ambos extremos. Esto es aplicable tanto para dosificación de cloro como de otro desinfectante. Se aconseja siempre no trabajar los dosificadores por debajo del 5% de su capacidad ni por encima del 95%

Así, teniendo en consideración todas las premisas, la capacidad del aparato clorador de gas se determina de mediante la expresión siguiente:

$$q = (1,05)1,3 q_1 \text{ kg/h}$$

(para tiempos de contacto de 30-60 minutos)

3.2 Determinación de la bomba auxiliar a utilizar

En un clorador de vacío la inyección del cloro en el agua a tratar se realiza mediante la pérdida de carga de un chorro de agua a través de un eyector. Esta pérdida de carga implica que el agua que se mezcla con el cloro debe entrar al eyector con una presión superior al del punto donde se aplicará la solución de cloro.

Cuando la aplicación es en un canal, como en las plantas potabilizadoras o en depósitos de agua, la presión puede ser tan baja como 20 mca, pero en conductos cerrados se puede requerir, según la capacidad del clorador de dos a tres veces la presión de la conductora. Esto requiere dotar a la instalación de cloración de una bomba elevadora de carga.

Generalmente, el suministrador del aparato



Pie de foto, pie de foto, pie de foto, pie de foto, pie de foto.

clorador entrega los datos de la carga y caudal de agua a la entrada del eyector y, con cierta frecuencia, las curvas de bomba centrífuga requerida. Al menos una de estas referencias es imprescindible para la selección de la bomba.

En todo caso, la característica de la bomba auxiliar puede reducirse, en cuanto a carga, tomando el agua de alimentación de la propia conductora, con lo que se dispone de una carga inicial significativa en la succión.

Los caudales más utilizados para bombas elevadoras son de 1 lps (3,6 m³/h) para cloradores de hasta 5 kg/h y de 2-4 lps (7,2- 14,4 m³/h) para 6-10 kg/h.

3.3 Montaje de la instalación

Una instalación de cloro gas tiene especificaciones de montaje comunes a la de una estación de bombeo y otras muy particulares.

Entre éstas se encuentran:

1. Alineación: la mejor orientación tanto del aparato clorador como de la bomba auxiliar es en paralelo a la conductora o canal donde se aplicará el desinfectante. Esto facilita, por una parte la conexión de la succión de la bomba como la línea de la solución al punto de aplicación.
2. Distancias de montaje: tanto el aparato clorador como la bomba auxiliar deben estar separados 1,0 m o más de puertas, accesos y vías de circulación.

La bomba estará separada del clorador y de las paredes no menos de 60 cm para permitir su montaje, revisión y reparación.

Si el clorador es de gabinete, tendrá también esta separación mínima, y si es de pared, la altura del borde inferior será no menor de 1,40 m mínimo para que sea fácil de leer por el operador. No se permitirá el empotramiento directo de cloradores de pared en és-

tas, sino utilizando una lámina de madera dura o metal protegidos contra la humedad y corrosión, respectivamente.

La bomba auxiliar (y el clorador de gabinete) se montarán sobre una base de hormigón de 10 cm mínimo de altura del suelo y estarán anclados con pernos de seguridad a ella.

Los paneles eléctricos e instrumentos de medición estarán protegidos contra la corrosión y preferiblemente alejados no menos de 1,0 m del aparato clorador.

El local donde se instala el aparato dispondrá de ventilación natural y/o forzada. Cuando solo se disponga de ventilación natural, ésta permitirá siempre la circulación de aire mediante aberturas (ventanas o celosías) en paredes opuestas. Una de estas aberturas tendrá su extremo inferior a 40 cm del suelo, para facilitar la salida de cualquier escape de gas (el cloro es más denso que el aire)

3.4 Líneas eléctricas

Con bastante frecuencia la instalación de cloración se ubica en la estación de bombeo. En este caso, las normas de instalación y protección de líneas y controles eléctricos son más estrictas, por la existencia de voltajes de 440 V y mayores. Son especificaciones generales para las líneas de alimentación eléctrica las siguientes:

- a) Toda línea de conducción eléctrica dispondrá de aislamiento adecuado y protección contra daños mecánicos. Esto se logra mediante el empotramiento en las paredes y soterrando las instaladas por el suelo.
- b) El local dispondrá de drenajes y protecciones contra la lluvia que evite accidentes o cortocircuitos causados por acumulación de agua.
- c) Los interruptores y controles eléctricos, como se indicó anteriormente, estarán instalados en lugares que eviten su deterioro por corrosión.

3.5 Línea de gas cloro

El cloro se envasa en forma licuada en cilindros o balones de acero. En un extremo del depósito existe una o dos válvulas de extracción donde se conecta la línea para alimentar el clorador. Esta línea puede ser de cobre flexible o manguera reforzada. El trazado de esta línea tiene los elementos siguientes: conexión al cilindro (con válvula auxiliar) tubería a toma múltiple (manifold), trampa de cloro, tubería a clorador (válvula reguladora y válvula auxiliar)

Las indicaciones imprescindibles para línea de gas son:

- El número mínimo de cilindros de cloro instalados es de dos y puede llegar hasta cinco.
- Cuando se utiliza tubería de cobre flexible, ésta se coloca en espiral, permitiendo al menos un lazo que permita expansiones mecánicas durante su reinstalación.

- La toma múltiple horizontal deberá disponer de una trampa contra impurezas del cloro y una purga para su limpieza periódica.
- Las válvulas auxiliares se colocarán siempre en los extremos de la línea de gas (conexión a cilindros y al aparato clorador), para permitir de forma segura las conexiones al cilindro y la interrupción del suministro de gas ante averías y reparaciones.
- Toda la línea de gas estará protegida mediante barreras físicas contra la circulación de personal y la manipulación de los cilindros.
- Las líneas de ventilación de las válvulas de alivio no se pasarán a través de puertas ni ventanas. Las mangueras serán ancladas en paredes, pasarán por éstas mediante encamisado y, en los tramos aéreos, dispondrán de soporte mecánico.

3.6 Línea de agua

Las tuberías o mangueras que conducen agua hacia la bomba auxiliar y de ésta al eyector estarán dispuestas de forma lo más rectas y directas posibles.

Cuando atraviesen locales, deberán estar soterradas y su paso por paredes se hará mediante encamisado. Los tramos obligatoriamente aéreos dispondrán de soportes mecánicos y los tramos adyacentes en paredes se anclarán mediante presillas.

Se preverá en los locales la existencia de drenajes o desagües para evacuar el agua derramada durante averías o mantenimientos.

Deberá preverse la instalación de válvulas en la toma de agua y en la entrada y salida de la bomba auxiliar, para facilitar su instalación y reparaciones.

3.7 Línea de dosificación

La conexión de la línea de dosificación al eyector y al injerto de aplicación se hará mediante presillas de seguridad.

La conducción de la solución de cloro desde el eyector hasta su punto de aplicación se realiza mediante una manguera o tubería reforzadas.

No se permite el paso de esta línea a través de puertas o ventanas o por pasillos de circulación sin estar protegida adecuadamente. Esta línea debe estar protegida contra daños mecánicos o accidentes, soterrándola con un encamisado de tubería plástica o de asbesto cemento. Cuando ocurra un cambio de dirección y en el punto de aplicación se construirá un registro protegido, para facilitar su instalación y reparaciones.

El punto de aplicación estará dotado de una válvula de corte para facilitar la desinstalación durante reparaciones.

4 LA INSTALACIÓN DE HIPOCLORITO

El esquema tecnológico de una instalación de hipoclorito es más sencilla que la de cloro gas, según el diagrama que aparece adelante. Aunque es bastante fácil de instalar, más del 90 % de las instalaciones

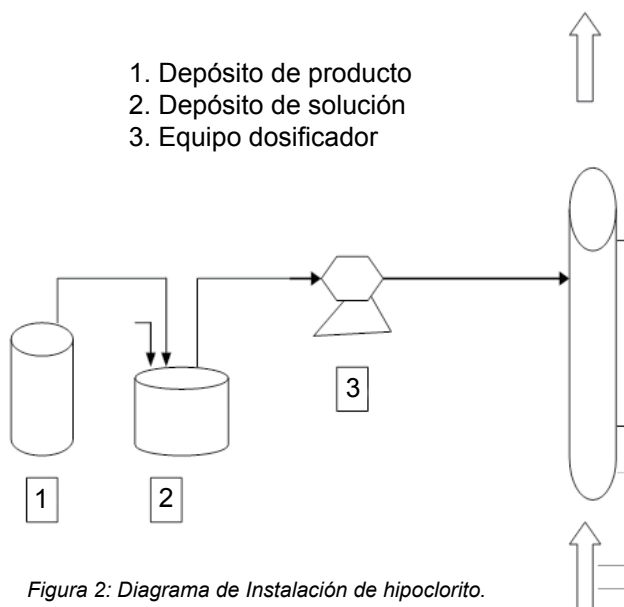


Figura 2: Diagrama de Instalación de hipoclorito.

de cloración funcionando en los acueducto son de hipoclorito.

La instalación de hipoclorito (ver figura 2) realiza básicamente la aplicación, mediante una bomba dosificadora, un eyector o un depósito de carga constante, de una solución de cloro activo obtenida por dilución de hipoclorito de sodio al 10% (de cloro activo) o hipoclorito de calcio granular al 30, 40 ó 70%. Esta solución se inyecta directamente en el punto de aplicación, sea un canal o un conducto cerrado a presión.

Las bombas dosificadoras más utilizadas son las de desplazamiento positivo mediante diafragma o pistón. Estas bombas tienen las características que se consignan en la tabla 1.

4.1 Determinación de la capacidad del dosificador

Aunque la solución de hipoclorito más empleada es la de 1 % de cloro activo, esto no es condición obligatoria. Puede utilizarse soluciones más diluidas o concentradas; El uso de la solución al 1 % es de tipo práctico: el hipoclorito de sodio se comercializa en soluciones al 10 %, por lo que la solución a aplicar se prepara mezclando una medida de solución de hipoclorito con nueve de agua, para obtener 10 medidas de solución preparada.

Para una solución de estas características, la determinación de la capacidad del dosificador (hipoclorador) puede ser semejante a la relacionada anteriormente para el cloro gas:

$$qh = (1,05)1,3 q_1 \times 100 \text{ litros/hora}$$

(para tiempos de contacto de 30-60 minutos)

En que 100 es el factor de la solución al 1% (cada litro tiene 1/100 de cloro activo)

En los dosificadores de hipoclorito se emplean presiones de descarga sólo ligeramente superiores a la existente en el punto de aplicación, para compensar las pérdidas en la línea de dosificación y el inserto.

Cuando se emplee dosificadores de pistón, éste deberá estar protegido contra la acción corrosiva de la solución por lo que no se recomiendan los pistones de acero. Los cheques a la entrada y salida del hipoclorador no pueden utilizar muelles, sino cheques de doble bola.

4.2 Montaje de la bomba dosificadora

El hipoclorador debe ser montado en una base con pernos de seguridad. La altura de la base será no menor de 90 cm y separada de las paredes al menos 60 cm, así como 1,0 metro de cualquier puerta. Un pedestal de hormigón se puede fundir para colocar sobre él el equipo hipoclorador. La línea de alimentación eléctrica puede colocarse encamisada dentro de este pedestal.

Los depósitos de hipoclorito de sodio (uno para la solución a aplicar y otro para el producto) deben ser preferiblemente de polietileno o PVC saturado, apoyados sobre soportes al piso, para facilitar su limpieza. La capacidad del depósito para la solución preparada deberá contener el volumen de 1 día de trabajo cuando menos y no más de cinco días.

El volumen para 1 día se calcula de la forma siguiente:

$$V_s \text{ (en litros) } = qh \text{ (litros/hora) } \times \text{ horas / día de trabajo}$$

No es recomendable el montaje del dosificador encima del tanque de solución, para protegerlo contra la corrosión por emanaciones de cloro.

4.3 Líneas eléctricas

La alimentación de energía al dosificador de hipoclorito requiere de un interruptor tipo arrancador (breaker) conectado a la alimentación general de la estación. De ser posible, se recomienda que sea el mismo arrancador de la bomba de agua para evitar la aplicación de hipoclorito sin bombeo de agua o colocados adyacentes para su arranque/paradas simultáneos. El interruptor debe colocarse a no menos de 1,40 m del suelo y separados no menos de 1 metro de los depósitos de solución e hipoclorito, para su protección química.

Bomba dosificadora	Q (litros/hora)	H (bars)
De diafragma	3 – 5	6 – 8
	10 – 60	8 – 12
De pistón		
PVC o cerámica	10 – 6	6 – 10
Acero inoxidable	30 – 400	10 – 30

Tabla 1: Características de las bombas dosificadoras.

Las líneas eléctricas estarán protegidas en las paredes y soterradas cuando atraviesen pisos. No se permitirá su colocación colgando ni atravesando puertas o ventanas.

4.4 Línea de dosificación

La línea de dosificación se instala utilizando mangueras de goma o plásticas reforzadas, conectas al equipo y al punto de aplicación preferiblemente mediante presillas de seguridad tipo cremallera.

La línea de succión dispondrá en su extremo inferior de un cheque de pie antisifón y preferiblemente colocado a no menos de 10 cm del fondo del depósito, para evitar la entrada de sedimentos.

El trazado de la línea de dosificación se hará lo más directo posible al punto de aplicación, protegida mediante camisa cuando transcurra por el suelo y con un registro tapado en su punto de inserción en la conductora. Este inserto dispondrá de una válvula de cierre para facilitar la desconexión en casos de limpieza o reparación.

5 MANIPULACIÓN Y USO DEL PRODUCTO

5.1 Cloro gas licuado

El cloro gas se produce por electrólisis de una salmuera de sal común refinada, que produce además hidrógeno y solución de sosa cáustica.

El gas es comprimido y envasado en depósitos de acero de 69, 83 ó 100 kg de capacidad (balones) o en cilindros mayores de 700, 850, 900 kg ó 1 t de capacidad en cloro gas licuado.

Las características de estos depósitos aparecen indicadas en las normas del Ministerio de la Industria Básica (MINBAS) y en la literatura especializada.

La transportación de los depósitos conteniendo cloro licuado en cuanto a procedimientos, precauciones y medidas de seguridad, se regula por la Resolución 2703 de 1990 del MINBAS.

En la instalación de cloración, los depósitos de cloro se inspeccionan durante su recepción, rechazando los que presenten salideros de gas, desperfectos en las válvulas, falta de protección de éstas o abolladuras.

Los depósitos menores (botellones) se colocan de pie, separados del piso y protegidos mediante barras de contención o cadenas.

Los cilindros de 700–1000 kg se disponen acostados de forma horizontal, con sus dos válvulas en línea vertical, separados del piso mediante vigas de acero con topes de separación cilindro–cilindro. Cuando no se dispone de polipasto para el izaje, pueden montarse los rieles sobre bases de hormigón a 1,40 m de altura, que permitan rodarlos desde la cama del camión o ras-trá utilizando tablonés.

Los cilindros llenos y vacíos se identifican con tiza o sobre cartón de forma explícita con su fecha, separando unos de otros y colocando barreras que impidan el paso o circulación, así como los avisos y señales

establecidas. Debe preverse dos formas de acceso en la instalación: una para la llegada de los cilindros llenos y otra para la salida de los vacíos.

La conexión de botellones y cilindros se realiza mediante una toma múltiple con no menos dos bocas y hasta diez, según los consumos. No se recomienda extraer de un depósito de cloro licuado más del 4% (en kg/h) del cloro existente, por lo que es imprescindible conectar al menos dos depósitos para efectuar el vaciado total de cada uno.

En un local adjunto, pero no donde se almacene el producto, se deberá prever los medios de protección reglamentados (careta antigas con filtro o escafandra autónoma, según el consumo), así como un frasco de amoniaco para verificar salideros de gas y un botiquín de emergencia.

La cantidad de gas cloro a almacenar en una instalación es para un mes de consumo promedio en las pequeñas y medianas, según el cálculo:

$$q \text{ (kg/h)} \times \text{horas /día} \times 30 \text{ kg}$$

En las instalaciones mayores el almacenamiento de un mes de consumo puede ser en la práctica difícil, por lo que se descentralizan las existencias en toda la empresa y se puede permitir en una instalación grande hasta sólo una semana de consumo.

5.2 Hipoclorito de sodio

El hipoclorito de sodio se comercializa como una solución alcalina de peso específico 1,1 y concentración de cloro activo al 10%.

La transportación se realiza mediante vehículos especializados, con cisternas de material resistente a la corrosión –poliéster, PVC u otro– o depósitos de acero revestidos. El trasvase del producto se realiza a gravedad o mediante bombas elevadoras.

El producto se almacena en la instalación de cloración en depósitos de polietileno, PVC o asbesto–cemento, con válvulas inferiores para permitir su limpieza.

El volumen de depósito debe permitir hasta 30 días de consumo promedio, pero por ser el hipoclorito de sodio en solución inestable, puede permitirse reducir el almacenamiento de producto hasta 15–20 días de consumo.

La capacidad del(os) depósito(s) de producto se determina de esta forma:

$$V_p \text{ (en litros)} = q_1 \times \text{horas /d} \text{ (1,1)}^{-1} \times 15$$

El depósito de solución a aplicar debe tener facilidades de agua limpia y una línea o vasija aforada para el trasvase del producto. El depósito se marca hasta la línea de aforo lleno y es aconsejable disponer de un mezclador manual. Se debe dejar en reposo durante 30 minutos antes de introducir la manguera de succión.

6 COMPROBACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO

La instalación de cloración debe ser sometida a comprobaciones de su funcionamiento.

Estas comprenden al menos tres determinaciones básicas:

6.1 El Ajuste de dosificación

La aplicación de una dosis de cloro al agua en un tiempo de contacto determinado no es prueba suficiente de su efectividad como desinfectante. Las características hidráulicas del sistema de conducción y distribución hasta la entrada al cliente influyen significativamente en la obtención y garantía de un agua segura.

La comprobación de la dosis adecuada de cloro en la instalación se verifica siempre contra los resultados del contenido bacteriológico en el agua del último consumidor. La prueba bacteriológica, expresada como ausencia de coliformes totales (o fecales) es demostración suficiente de la efectividad de la cloración como desinfectante.

Si esta comprobación práctica demuestra no suficiente efectividad de la aplicación de cloro en la instalación, se debe variar la dosis aplicada y, de ser necesario, otras medidas de corrección, como la limpieza de redes o su desinfección hasta que, como establece la norma, "...dos comprobaciones sucesivas arrojen ausencia de organismos coliformes".

Otra forma de demostración de la efectividad, menos concluyente, pero más sencilla es la del ajuste de los residuales de cloro en la red de distribución. Para ello, se determina el contenido de cloro en el agua que reciben los consumidores, sobre todo los situados en los puntos más vulnerables (puntos extremos) y se asegura la presencia de contenidos de cloro iguales o superiores a 0,3 mg/l en todos los lugares revisados. De no ser así, se ajusta la dosificación en la instalación de cloración, hasta obtener tales valores.

6.2 Pruebas de hermeticidad

Las pruebas de hermeticidad son comprobaciones de la ausencia de pérdida de producto en la instalación.

Se realiza una vez al día por el operador. En el caso de cloro gas se utiliza un frasco con amoniaco que se pasa por la línea de gas, incluida la válvula del cilindro, hasta el aparato clorador.

En la instalación de hipoclorito se comprueba la existencia o no de goteos en el preñe de la bomba dosificadora, en las uniones de las mangueras con el dosificador y en el inserto del punto de aplicación.

6.3 Pruebas de medición

6.3.1 Medición del producto aplicado

La determinación de la cantidad de producto aplicada al agua es sencilla en la instalación de cloro gas, ya que el aparato cuenta con rotámetro u otro medidor continuo de flujo, cuya escala indica la cantidad de cloro aplicada, en kg/h o g/h.

En el caso de hipoclorito, la bomba dosificadora no mide la cantidad de solución que está aplicando sino el desplazamiento que realiza el pistón o el vástago

del diafragma, por lo que se debe convertir la longitud recorrida en caudal dosificado.

La conversión de longitud de desplazamiento a caudal aplicado se efectúa utilizando una vasija aforada y un reloj.

Se introduce el extremo de la línea de succión en la vasija llena de agua hasta el aforo y se mide el tiempo de vaciado de ésta. El resultado se lleva hasta una hora y se expresa en litros por hora de solución aplicada en ese punto.

A continuación, se va moviendo el botón del desplazamiento y repitiendo estas mediciones. La escala de conversión desplazamiento: litros/hora se tabula y coloca anexo al dosificador. En la escala se debe indicar para qué presión en el punto de aplicación es válida esta escala.

6.3.2 Determinación de la dosis de cloro en agua y del caudal de agua

La concentración de cloro aplicado al agua se comprueba mediante una muestra de agua ya clorada, que se toma preferiblemente a no menos de 10 diámetros de conductora medidos después del punto de aplicación. A esta muestra de agua se le realiza una comprobación colorimétrica con DPD o, caso último, con ortotolidina. El método de ensayo se encuentra en los manuales de laboratorio.

Cuando ya se conoce la cantidad de producto que se aplica el agua según 6.3.1, este dato puede utilizarse para hacer una determinación aproximada del caudal de agua que recibe tratamiento. Para ello se emplea la fórmula:

$q_1 = cQ$ en que q_1 : caudal de cloro activo aplicado g/h, c : concentración de cloro en el agua tratada g/m³
 Q : caudal de agua tratada, m³/h

Despejando: $Q = q_1 / c \text{ m}^3/\text{h} \blacktriangleleft$

Bibliografía

1. Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants. White, Geo. C. Van Nostrand Reinhold. 3th. Edición. New York, 1992.
2. KEITH A. CHRISTMAN: *Cloro*. Seminario Internacional de Desinfección del Agua. Recife, Brasil, 1996.
3. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN DE CUBA: *NC 93-03/1985 Sistemas de Abastecimientos Públicos de Agua. Requisitos Sanitarios*. NC 93-03/1985. CDU.628.12.354(729.1). La Habana, 1985.
4. JAMES LAUGHLIN: *Historia del Tratamiento del Agua*. World of Water 2000. Water World and Water&Wastewater International. 1999.
5. INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS DE CUBA: "Instrucción para el Ajuste de Residuales de Cloro en Red. CC-C3". La Habana, 1990
6. -----: Regulación 3-97 del INRH "Reglamentación para las instalaciones de cloración". La Habana, 2000.
7. -----: Instrucción 01.2000.INRH "Sobre la manipulación y uso de gas cloro en los acueductos". La Habana, 2000.
8. GRUPO EMPRESARIAL DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADOS del INRH: "Indicaciones sobre uso del cloro 01, 02 y 03/2004". La Habana, 2004.