

**5. DISPOSITIVOS PARA LA  
DOSIFICACION DE DESINFECTANTES**

Además de la eficacia microbicida del desinfectante, la selección del método de desinfección que se proponga emplear también depende significativamente de aspectos prácticos como la instalación del equipo, los requisitos para su operación y mantenimiento, su durabilidad, las medidas de seguridad y el apoyo de la infraestructura disponible para resolver los problemas. En esta sección se examinan las características de los cloradores, ozonadores, generadores de oxidantes mezclados, yodadores y el equipo de luz ultravioleta, teniendo en consideración los factores más sobresalientes e importantes de estos, a fin de asegurar que el método seleccionado sea el más apropiado para mantener una operación sostenible y confiable en las condiciones en que va a ser utilizado.

### 5.1 CLORACION Y CLORADORES

El cloro es el desinfectante más utilizado en los suministros de agua pequeños en América Latina y el Caribe, ya sea en forma de cloro gaseoso (licuado) o de hipocloritos que se obtienen comercialmente como polvo, líquido, tabletas o gránulos. El Cuadro 15 muestra las características principales de las formas de cloro empleadas con más frecuencia.

Lo primero que hay que decidir al seleccionar el equipo de cloración es si se va a usar cloro gaseoso o hipocloritos, y en esto entran en juego varios factores. El tamaño de la población a servir es importante. En este documento se presta atención especial a los pueblos pequeños y comunidades rurales con poblaciones de hasta alrededor de 10.000 habitantes. En muchos países, el cloro gaseoso licuado es el desinfectante de agua más económico. Viene en cilindros de acero, con una capacidad nominal neta de 40 ó 70 kg (150 lbs) a fin de permitir la manipulación a mano, o con capacidades de 1000 kg o más que requiere maquinaria pesada para su manejo. Los dispositivos de dosificación de cloro gas actualmente disponibles son razonablemente seguros de operar y mantener, y también ofrecen flexibilidad; pero, en circunstancias específicas los hipocloritos podrían ser más prácticos o económicos. En los tamaños de abastecimientos que se están considerando en estas guías, los dosificadores de hipoclorito o hipocloradores, también pueden tener cabida, y para flujos de agua muy bajos, inferiores a la capacidad mínima de los dosificadores de gas, pueden ser la única opción.

La hipocloración requiere estricto control para asegurar el que las soluciones de cloro se preparen adecuadamente, no se agoten o se dejen reposar durante períodos prolongados de tiempo, pues pierden potencia; no obstante, el nivel de educación del operador no necesita ser tan alto como en el caso de la operación de los sistemas de cloro gaseoso. Aunque el costo de la cloración en sus diversas formas es generalmente bajo, puede ser un factor importante al tomar una decisión. En América Latina y el Caribe, el cloro gas generalmente cuesta de la cuarta parte a la mitad de una solución equivalente de hipoclorito; sin embargo, la inversión inicial en un sistema de cloración de gas y los requisitos de instalación y operación

**CUADRO 15**  
**Formas de cloro utilizadas frecuentemente para la**  
**desinfección de abastecimientos de agua pequeños**  
**en América Latina y el Caribe**

Nombre del producto químico	Nombre comercial o común	Características	Contenido de cloro	Envase usual
Cloro	Cloro licuado, cloro gaseoso	Gas licuado a presión	99,8%	cilindros de 40 y 70 kg <sup>1</sup>
Hipoclorito de calcio	HTH, Percloron	Polvo, gránulos y tabletas. Razonablemente estable, pero en contacto con sustancias orgánicas puede iniciar combustión	65 - 70%	latas de 1,5 kg, tambores 45-135 kg, baldes plástico
Hipoclorito de sodio	Hipoclorito de sodio, blanqueador líquido	Líquido amarillo pálido. Pierde potencia rápidamente a concentraciones mayores de 7%	1 - 15%	diversos tamaños de botellas de plástico y vidrio, y garrafones
Cal clorada	Cal clorada, polvo blanqueador	Polvo blanco, se deteriora rápidamente cuando se expone a temperatura alta y/o luz solar	15 - 35%	tambores 45-135 kg, bolsas plásticas o de papel de 25-40 kg, otros

<sup>1</sup> El cloro también viene en recipientes de una y cinco toneladas y de otros tamaños especiales para grandes plantas de tratamiento de agua.

generalmente son mayores que en las instalaciones de hipocloración. Desde el punto de vista del costo, la cloración de gas es muy competitiva con la hipocloración en la gama de tamaños de las comunidades que aquí nos ocupan. La experiencia práctica sugiere que el punto de equilibrio del costo entre el gas y la hipocloración sería a una tasa de dosificación de aproximadamente 1,5 kg de cloro al día. Para comunidades de tamaño medio, la selección de gas o de hipocloritos tendrá que

estudiarse cuidadosamente, pues las ventajas y desventajas pueden traslaparse, y la selección puede que tenga que basarse en factores adicionales. Una consideración importante al seleccionar uno u otro debe ser el nivel de aptitud requerida del operador y la capacidad de la comunidad para costearla. En cada caso se requiere un análisis detallado de todos los factores importantes y circunstancias especiales predominantes.

#### **Dispositivos de dosificación de cloro gaseoso**

En los años 80, los equipos de dosificación de cloro gas evolucionaron en base a la experiencia y el desarrollo de nuevos materiales, resultando en dispositivos más duraderos y sencillos de operar, que requieren menos mantenimiento y son muchísimo menos costosos. Gran parte del equipo de cloración de gas de años anteriores ya es anticuado, y en muchos casos raras veces funcionó durante un período considerable en las condiciones encontradas en los pueblos pequeños y comunidades rurales. Más recientemente se han desarrollado cloradores que van montados directamente sobre el cilindro de cloro o en una pared cercana, y se están empleando con mucho éxito en la mayoría de los países. Estos generalmente son más económicos de adquirir y más sencillos de instalar, operar y mantener en comunidades pequeñas, que otros tipos de cloradores de gas.

Para determinar la capacidad de un clorador de gas, es necesario establecer el flujo máximo esperado del agua. Este flujo en litros/segundo, multiplicado por la dosificación en mg/litro y luego por 3,6, da el número de gramos de cloro que el clorador debe ser capaz de suministrar por hora.

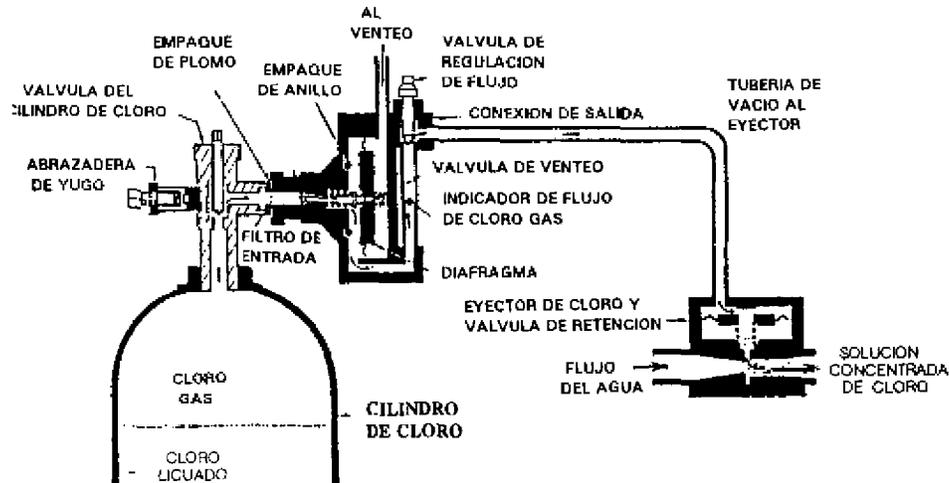
Dado que la mejor manera de determinar la tasa real de cloro gas licuado que se está dosificando es basándose en el peso, es obligatorio el uso de balanzas apropiadas para determinar el gasto en un tiempo determinado.

#### **Cloradores de gas de funcionamiento al vacío**

Este sistema de cloración requiere que haya un vacío para activar el mecanismo que deja salir el cloro gas contenido en un cilindro de cloro gas licuado.

El vacío se crea con agua a presión que fluye a través de un eyector (Venturi) u otro dispositivo similar. El cloro gas pasa del cilindro a través del regulador de demanda (montado directamente en la válvula del cilindro mediante una abrazadera que trae el clorador); luego el gas pasa por una tubería al vacío que conecta el regulador al Venturi. El cloro gas es incorporado en el agua que pasa a través del eyector (Venturi) y se mezcla y disuelve inmediatamente a las concentraciones deseadas. El sistema completo de dosificación de cloro

esencialmente se compone de un regulador de presión, una válvula reguladora de flujo, un indicador de flujo, un eyector, un difusor y la tubería de interconexión (Figura 18). (Para comunidades pequeñas no se recomienda la conexión de los cilindros al clorador de vacío a través de tubería, por razones de seguridad, debido a que en caso de ruptura de la tubería el gas del cilindro escaparía a la atmósfera creando una situación que podría ser peligrosa).



Cortesía de Capital Controls Co

**FIGURA 18**  
*Sistema de dosificación de solución de cloro al vacío*

El regulador reduce la presión del cloro gas del tanque, que depende de la temperatura, y dirige el gas hacia el eyector, donde se crea un vacío parcial. La función de la válvula de regulación es controlar el flujo del gas que se está dosificando. El flujo del agua a través del eyector generalmente lo proporciona una bomba reforzadora (para la elevación de presión). El agua que sale por el eyector

es una solución fuerte de cloro que se dirige hacia el difusor que descarga en una tubería mayor que conduce el agua que se va a desinfectar, mezclando la solución fuerte y diluyéndola a la concentración deseada. Se agrega un medidor de flujo (generalmente un rotámetro) al sistema para indicar la tasa de flujo del gas de cloro.

Una ventaja de este clorador es que cuando no está corriendo agua por el eyector, no hay vacío en el sistema y, por lo tanto, no se descarga cloro gas. Para impedir un flujo inverso del agua a través del punto de succión del tubo Venturi cuando no está fluyendo el agua por él, se coloca una válvula de retención en el eyector. Estas dos características importantes del diseño contribuyen a la seguridad al impedir que salga gas cuando no está fluyendo agua (de la bomba) por el eyector y también impidiendo la formación de cloro gas húmedo, que es sumamente corrosivo y atacaría los componentes del sistema. Con fines de seguridad, se proporciona un venteo que va del clorador (regulador) al exterior de la instalación de cloración.

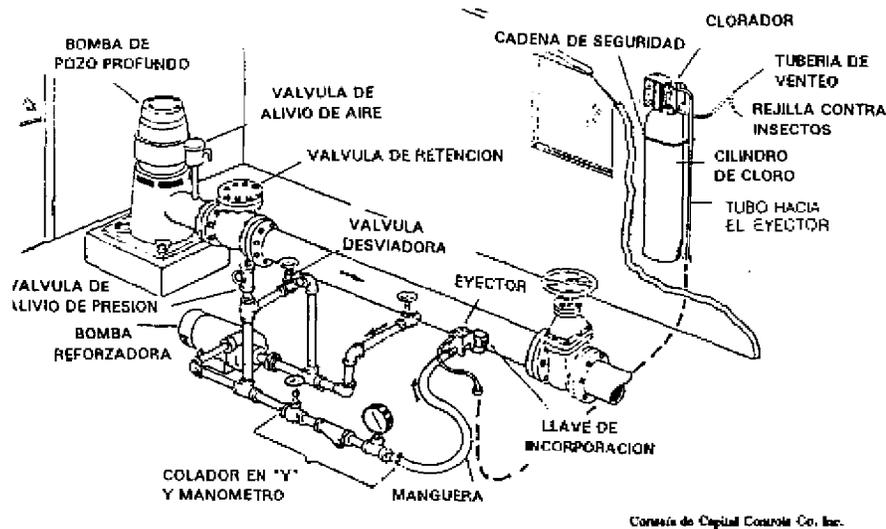
Las tasas típicas de dosificación para los cloradores pequeños del tipo de vacío es de 3,5 a 75 gramos/hora, aproximadamente. Hay equipos de esta clase con tasas de dosificación de cloro de hasta 100 kilogramos por día.

La operación de este tipo de clorador en las comunidades pequeñas de América Latina generalmente es manual. El operador tiene que determinar previamente la cantidad de cloro que se va a suministrar en un período dado y, observando el rotámetro, ajustar la válvula de regulación a fin de modificar el flujo de cloro para obtener la dosis requerida. Cada vez que hay un cambio en el caudal de agua o en la demanda de cloro, hay que volver a ajustar el flujo de gas de cloro. En el sencillo sistema de control de arranque-parada, el flujo del cloro es activado por el ciclo de operación de una bomba o de las bombas. Cuando la bomba comienza a funcionar, el clorador empieza a suministrar una cantidad predefinida de cloro gas. El operador tiene que ajustar previamente a mano la tasa de alimentación. Con controles automatizados más complejos se puede ajustar la tasa de acuerdo con el flujo o incluso según el cloro residual deseado, pero debido a su complejidad y la dificultad de mantenimiento, raras veces se encuentra esta clase de controles en los sistemas pequeños de abastecimiento de agua de América Latina y el Caribe.

#### a) Requisitos de energía

La energía eléctrica para operar los cloradores de gas de tipo de funcionamiento al vacío es relativamente pequeña, pues solo se requiere la energía necesaria para inducir el flujo de agua a través del eyector (Venturi). El flujo de agua y la presión diferencial que se requieren pueden producirse por medios

hidráulicos o eléctricos con ayuda de una pequeña bomba reforzadora, generalmente de 1 a 1-1/2 caballos de fuerza, (Figura 19). En la selección del equipo operado eléctricamente, la fiabilidad y estabilidad de la fuente de energía es una consideración importante.



**FIGURA 19**  
Clorador de gas de funcionamiento al vacío, montado sobre el cilindro de cloro con bomba reforzadora

#### b) Requisitos de instalación

En vista de que la manera más exacta de determinar la tasa efectiva de la alimentación del cloro gas que se está dosificando es basándose en el peso del cloro consumido, es obligatorio usar balanzas apropiadas. El pesaje correcto permitirá

hacer un cálculo exacto de la cantidad de cloro que se está dosificando durante un período determinado y también indicará cuándo o cuán pronto habrá que cambiar los cilindros. Las balanzas deben considerarse como una parte integral del equipo de cloración de gas. Las balanzas para los sistemas pequeños de abastecimiento agua están diseñadas para pesar cilindros de 45 ó 70 kg. en posición vertical. Todas las instalaciones de cloración de gas deben estar dotadas de cadenas u otro aparejo bien asegurado a una pared para evitar que los cilindros de cloro se vuelteen accidentalmente (Figuras 19 y 20).

El cloro es un gas peligroso, por lo que debe manejarse con cuidado. Hay varios manuales que proporcionan orientación para el diseño de cuartos de cloración y almacenamiento, que pueden obtenerse del "Chlorine Chemistry Council" (anteriormente "Chlorine Institute"), de productores de cloro, de fabricantes de equipo de cloración y de asociaciones profesionales como la "AWWA". Para garantizar la mayor seguridad y economía, los sistemas de cloración de gas los deben diseñar e instalar personas experimentadas. En la Figura 20 se muestra un plano típico para una instalación pequeña de cloración con gas. Los cilindros de cloro se deben guardar en una habitación separada diseñada específicamente con ese fin. Los cilindros de cloro nunca se deben guardar donde les dé la luz solar directa para evitar que se calienten. En todo caso, se debe proporcionar ventilación adecuada de las instalaciones.

#### c) Operación y mantenimiento

La instalación, la reparación y el mantenimiento de cloradores de gas sólo deben hacerlas operadores adiestrados y en conformidad con las instrucciones del fabricante.

Los sistemas de cloración por dosificación de solución al vacío requieren inspección y mantenimiento con regularidad por técnicos u operadores adiestrados, y que se sigan las recomendaciones específicas del fabricante para asegurar un funcionamiento adecuado y evitar reparaciones y accidentes costosos. Este tipo de sistema generalmente es duradero y relativamente exento de dificultades. Hay que tener sumo cuidado de que la humedad no se mezcle con el cloro gaseoso dentro del sistema de dosificación, pues el cloro gaseoso húmedo corroerá o deteriorará rápidamente el equipo, o sea, partes plásticas, herrajes de metal, válvulas, conexiones flexibles, etc. Los materiales del sistema de cloración, incluyendo repuestos y accesorios, tienen que ser apropiados para el manejo de cloro gaseoso húmedo y seco. El cloruro férrico que se deposita en las tuberías, generalmente debido a las impurezas del cloro, se debe limpiar con regularidad. En todo momento se debe tener a mano una cantidad adecuada de repuestos. Las conexiones flexibles

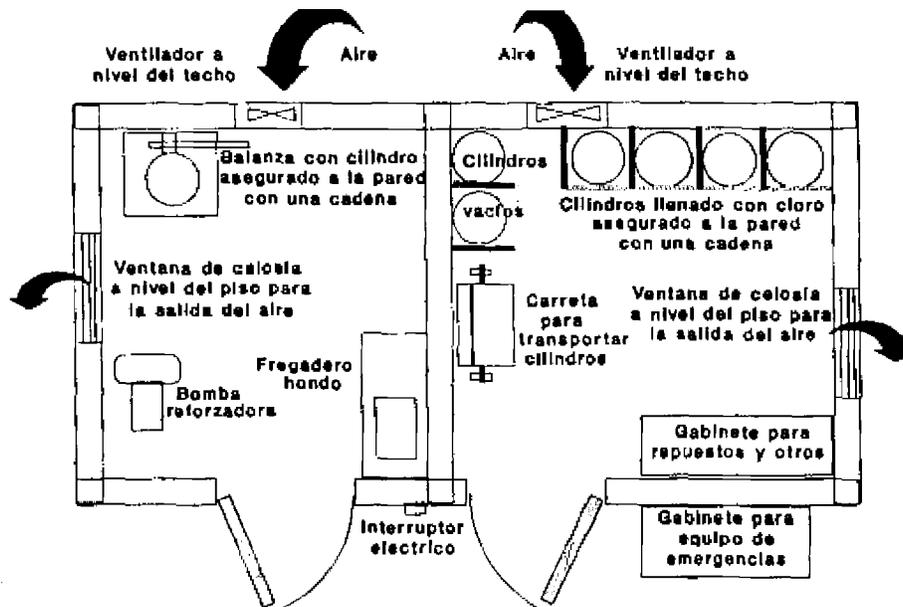


FIGURA 20

*Plano típico para una pequeña instalación de cloración con gas*

deben reemplazarse conforme a lo recomendado por el fabricante. Los empaques de plomo entre el cilindro y el clorador se deben utilizar sólo una vez. Cuando sea necesario cambiar cilindros será necesario abrir las juntas entre los cilindros y los cloradores, en cuyo caso, o por cualquier otra razón se deben reemplazar con empaques nuevos recomendados por el fabricante. La reutilización de empaques usados es probablemente la causa más común de las fugas de cloro gas. En todo caso se requiere un operador bien adiestrado para atender a la operación, mantenimiento y reparación de este tipo de equipo.

Es práctica común que un operador compruebe y, en caso necesario, ajuste la dosis de cloro gas 3 ó 4 veces en un turno de 8 horas. El cambio rutinario de un cilindro vacío a otro lleno suele tomar menos de 15 minutos a un operador experimentado.

#### d) Seguridad

El cloro gas se vende en forma de gas licuado en cilindros de acero. Los cilindros contienen 40 ó 70 kilogramos de esta sustancia. Para sistemas más grandes también se venden envases de una tonelada o más. A 68°C, los cilindros llenados conforme a las especificaciones están completamente llenos de cloro líquido, por lo que los aumentos significativos de temperatura pueden resultar en la rotura del envase.

El cloro gas siempre es potencialmente peligroso por su extrema toxicidad. Debido a los peligros de explosión, deben cumplirse estrictamente las especificaciones para llenar los cilindros. Asimismo, se deben seguir reglas y precauciones especiales en su manejo, transporte, descarga, almacenamiento, instalación y conexión al clorador, arranque y parada, desconexión, retirada, mantenimiento y reparación. También deben proporcionarse equipos de seguridad, incluyendo máscaras antigás y herramientas especiales para arreglar fugas y otras tareas de mantenimiento y reparación; el personal debe ser adiestrado y ejercitado regularmente en todos los aspectos de su uso, incluyendo la detección de fugas, el manejo de emergencias y el uso del equipo de protección personal en los diversos procesos. Se debe realizar regularmente la capacitación de los operadores y deben haber programas para la inspección, el examen y el reemplazo de cilindros a fin de evitar fugas o rupturas serias.

#### e) Costo

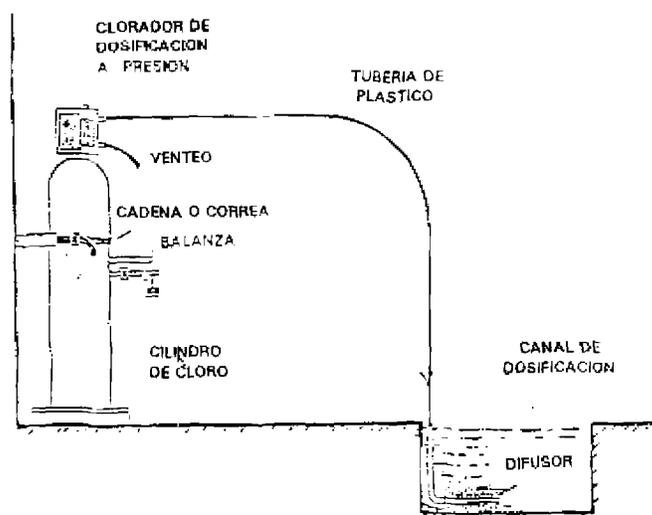
Los cloradores del tipo de funcionamiento al vacío montados directamente sobre el cilindro, incluyendo el inyector-difusor, cuestan alrededor de EUA\$900 a \$1200; un cilindro de cloro gas de 70 kilogramos con válvula, de \$350 a \$400; la balanza, unos \$220, y la bomba reforzadora y tuberías, cerca de \$250. El costo del cloro licuado varía mucho de un país a otro, oscilando entre \$1,00 a \$6,00 por kilogramo. Los costos de operación y mantenimiento también varían mucho de un país a otro, principalmente debido a las grandes diferencias en las tarifas de electricidad y los costos de la mano de obra.

#### Clorador del tipo de dosificación de gas de cloro a presión

Este tipo de clorador suele recomendarse únicamente para aquellos casos en los que no hay posibilidad de usar un diferencial de presión o no se dispone de una fuente de electricidad para operar una bomba reforzadora que produzca el diferencial de presión necesario para el funcionamiento de los cloradores al vacío.

El sistema consta de un diafragma accionado por resorte y activado por un regulador de presión que reduce la presión del cilindro a cerca de 1,46 kg/cm<sup>2</sup>. Con

este dispositivo se utiliza una presión baja en el sistema, lo que reduce la probabilidad de fugas. La tasa de dosificación se mantiene constante, independientemente de cualquier cambio que ocurra en la presión del cilindro de cloro. Un rotámetro indica la tasa de flujo del cloro y un venteo en el clorador permite aliviar el gas hacia el exterior cuando se cierra la válvula del cilindro. El cloro gas es dirigido desde el clorador hasta un difusor por medio de una válvula de control. El difusor debe estar sumergido en el agua a ser desinfectada, generalmente en un tanque o canal, pero también puede insertarse directamente en una cañería de agua de baja presión (menos de  $0,7 \text{ kg/cm}^2$ ). Los cloradores más pequeños del tipo de alimentación a presión tienen una capacidad que varía entre 6,0 y 120 g/hora. Como la presión del cloro gas en el cilindro cambia en función de la temperatura ambiente, la tasa máxima de dosificación continua debe calcularse en base a la temperatura ambiente más baja prevista. Para una dosificación continua de cloro gas de 120 g/hora, la temperatura del ambiente tiene que ser superior a  $-5,0^\circ\text{C}$ . Como medida de seguridad se coloca una válvula manual de alivio de presión entre el clorador y el difusor para descargar (al exterior del edificio) el cloro gas que pueda haber en la tubería cuando se cambian los cilindros. La Figura 21 muestra el diagrama de una instalación típica.



**FIGURA 21**  
Esquema de la instalación de un clorador del tipo de dosificación de gas de cloro a presión

**a) Requisitos de energía**

El clorador de gas del tipo de presión es activado por la propia presión del gas de cloro en el cilindro y no requiere energía eléctrica externa. Esto es una ventaja en los casos en que no se dispone de una fuente de energía hidráulica o eléctrica para producir el diferencial de presión requerido por el clorador del tipo de vacío.

**b) Requisitos de instalación**

Los requisitos y precauciones de instalación son esencialmente los mismos que para los cloradores de dosificación al vacío. Además, es importante que la cámara de contacto, el canal o el tanque sean diseñados de modo que siempre haya una cubierta mínima de agua de 0.5 metros sobre el difusor para asegurar que se disuelva todo el cloro gas, evitando así que se pierda en el aire. La Figura 21 muestra una instalación típica de un clorador de gas alimentado a presión.

**c) Operación y mantenimiento**

Los requisitos de operación y mantenimiento son básicamente los mismos que se indican para los cloradores de gas de funcionamiento al vacío. Además, se requiere que el operador preste mucha atención para cerciorarse de que se ha cortado el paso del cloro gas cuando no hay flujo de agua. Generalmente se requiere un operador a tiempo completo.

**d) Seguridad**

Este tipo de clorador no se considera tan seguro como el de tipo al vacío porque mantiene una presión positiva en el sistema y no cesa de alimentar cloro automáticamente cuando no hay flujo de agua. Esto aumenta algo la posibilidad de fugas; sin embargo, son seguros si se instalan, operan y mantienen siguiendo las instrucciones del fabricante. Las consideraciones en cuanto a seguridad son básicamente las mismas de los cloradores de dosificación de solución al vacío. Además, deben tomarse precauciones especiales en aquellos sistemas que descargan el cloro directamente en tanques de agua, a fin de impedir la acumulación excesiva de cloro gaseoso cuando el nivel del agua esté bajo o disminuya el flujo. Este tipo de clorador requiere que se preparen y sigan procedimientos operativos precisos y detallados para garantizar la seguridad y protección máxima del personal y se debe adiestrarlo en ello. En general puede justificarse la instalación de un detector de cloro en el aire con una alarma.

#### e) Costo

Los costos de operación de los cloradores a presión montados sobre el cilindro de dosificación son algo inferiores a los del tipo de vacío, porque no requieren una bomba reforzadora. Los costos de mano de obra son aproximadamente iguales. El costo total anual de la desinfección por persona, incluyendo el equipo, la instalación, la mano de obra y el cloro generalmente se encuentra entre EUA\$0,25 y \$1,00.

#### Dispositivos de dosificación de hipoclorito

Hay varios tipos de hipocloradores fabricados comercialmente así como muchos dispositivos de construcción local que funcionan satisfactoriamente cuando se instalan y operan adecuadamente. Los siguientes figuran entre los que más se utilizan en América Latina y el Caribe.

#### Hipoclorador de bomba de diafragma

Este tipo de clorador emplea una bomba de diafragma de desplazamiento positivo como el que se muestra en la Figura 22. El diafragma flexible, hecho de material resistente a los efectos corrosivos de las soluciones de hipoclorito, es accionado por una leva o biela de pistón conectada a un excéntrico. Con cada recorrido de la biela, el diafragma flexible bombea la solución de hipoclorito hacia el abastecimiento de agua. Puede usarse un resorte para hacer regresar el diafragma a su posición original. Dos válvulas de retención, una en el extremo de succión y la otra en el extremo de descarga, aseguran el flujo unidireccional de la solución de hipoclorito.

El método más común de accionar las bombas de diafragma es usando un motor eléctrico. Las de accionamiento hidráulico son menos comunes. Estas últimas pueden usarse cuando no se dispone de una fuente fiable de energía eléctrica. Una ventaja de este sistema es que con un dispositivo especial, la velocidad de dosificación del hipoclorito puede calibrarse a la velocidad de flujo del agua. Una desventaja del accionamiento hidráulico es la complejidad mecánica de estos aparatos, la que frecuentemente resulta en problemas de operación y mantenimiento. La selección del accionador específico para el hipoclorador dependerá de las características de cada caso.

El caudal de las bombas de diafragma puede regularse para ajustar la dosificación de la solución de hipoclorito, ajustando ya sea la frecuencia o la longitud del recorrido de la biela. La mayoría de los hipocloradores más comunes utilizan motores de velocidad variable para regular la frecuencia del recorrido de la biela.

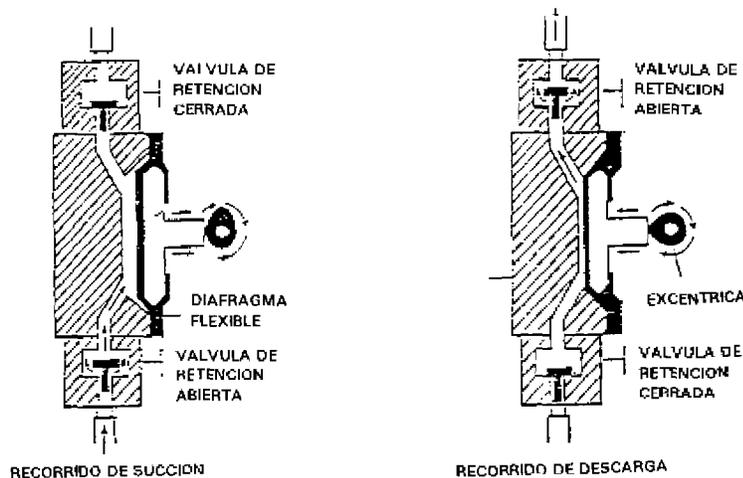
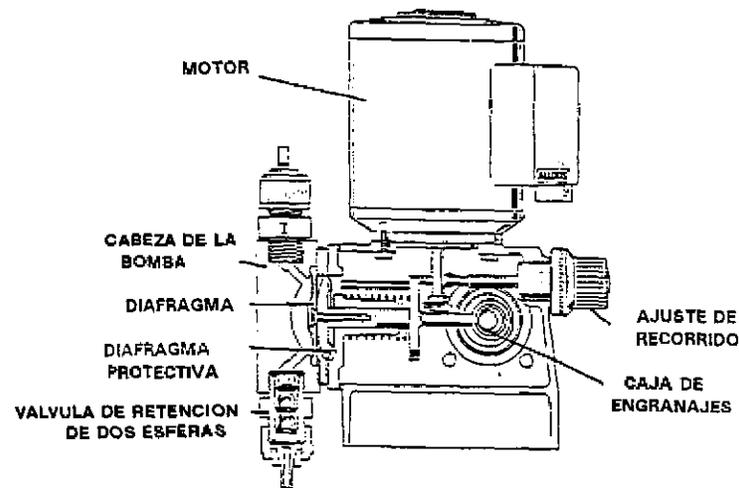


FIGURA 22

*Esquema de la operación de una bomba de diafragma*

Algunos emplean medios mecánicos para ajustar la longitud del recorrido, y unos pocos utilizan ambos métodos. En la mayoría de los sistemas pequeños de abastecimiento de agua de América Latina, el control de la frecuencia del recorrido de la biela parece ser el preferido por su sencillez. En el caso del arranque-parada el control suele operarse a mano, al igual que la tasa de dosificación, pero el control de arranque-parada también puede ser automático usando un interruptor de activación magnética conectado directamente al regulador de la bomba de agua. Por lo general no se recomienda para comunidades pequeñas sistemas complicados de control que ajusten las tasas de dosificación automáticamente. La Figura 23 muestra los detalles de una bomba típica de diafragma accionada por motor eléctrico empleada para la hipocloración.

Las bombas de diafragma para dosificar productos químicos se fabrican en varios países de América Latina así como en EE.UU., Canadá y Europa, y pueden encontrarse con relativa facilidad en la mayoría de los países de la Región, pues hay unas cuantas marcas disponibles en el mercado. La capacidad de esta clase de hipoclorador es amplia, suministrando el más pequeño cerca de un litro/hora de



**FIGURA 23**  
*Esquema de una bomba de diafragma con  
 ajuste de la biela (cortesía de Alldos)*

hipoclorito y los más grandes cerca de 200 litros/hora. Dependiendo de la concentración de la solución y la dosificación de cloro deseada, pueden desinfectarse flujos de agua de hasta un litro/segundo. Una ventaja principal de este tipo de dispositivo de dosificación sobre la mayoría de otros hipocloradores es que puede introducir la solución directamente en tuberías de agua presurizada hasta con  $6,0 \text{ kg/cm}^2$ .

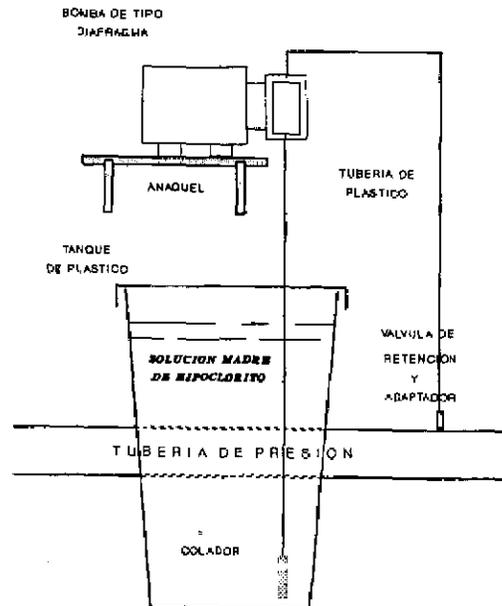
#### a) Requisitos de energía

Las bombas de diafragma requieren una fuente de energía primaria para accionarlas. La más común hasta ahora, cuando se dispone de energía eléctrica, es un motor eléctrico integrado. Cuando no existe esta fuente de energía, pueden emplearse bombas hidráulicas; sin embargo, estas son complicadas, adolecen de numerosos problemas de operación y mantenimiento y su desempeño en América Latina no ha sido muy bueno. La energía requerida para operar el hipoclorador es

relativamente pequeña, generalmente de 1/4 a 3/4 de caballo de fuerza. Al escoger este tipo de clorador es importante considerar la fiabilidad y calidad de la fuente de energía.

#### b) Requisitos de instalación

Una instalación bien diseñada debe proteger los productos químicos contra la luz solar así como proporcionar condiciones para manejar y mezclar fácilmente las soluciones químicas. También debe estar bien ventilada y evitar temperaturas y humedad muy altas. La instalación se debe diseñar de manera que se facilite la operación y el mantenimiento y se reduzcan al mínimo los riesgos potenciales del cloro. Se recomienda tener un cuarto separado para almacenar el hipoclorito debido a su naturaleza corrosiva y reactiva. En la Figura 24 se muestra el diagrama de una instalación típica de cloración con hipoclorito de calcio alimentando una tubería de presión.



**FIGURA 24**  
*Hipoclorador de diafragma de desplazamiento positivo alimentando una tubería a presión*

### c) Operación y mantenimiento

La operación y mantenimiento de los hipocloradores del tipo de bomba de diafragma es relativamente sencilla, pero se requiere un mantenimiento de rutina fiable. La exactitud y uniformidad de la dosificación pueden obtenerse si el equipo se mantiene libre de precipitados y depósitos en las válvulas de retención y en el colador. Generalmente se recomienda una concentración de 1 a 3 por ciento para las soluciones madre de hipoclorito de calcio para alcanzar un equilibrio económico entre el costo de bombeo y el de evitar la precipitación de calcio en las válvulas de retención y la cámara del diafragma. Cuando el agua empleada para hacer soluciones madre de hipoclorito de calcio es dura o tiene un alto contenido total de sólidos disueltos, será necesario sedimentar los precipitados después de preparar la solución, a fin de reducir los problemas de precipitación dentro de la bomba y su tubería de succión y colador. La cal clotada, además de los problemas de precipitación, suele contener impurezas que no se disuelven, y que se deben extraer de la solución madre por el proceso de sedimentación-colado-decantado o filtración antes de usarla. La solución de hipoclorito de sodio tiene menos problemas de precipitación y por lo tanto puede ser más concentrada que las de hipoclorito de calcio, pero a las concentraciones más altas la solución se vuelve inestable y pierde rápidamente la potencia; en consecuencia, es práctica común emplear concentraciones de hipoclorito de sodio de menos del 10%.

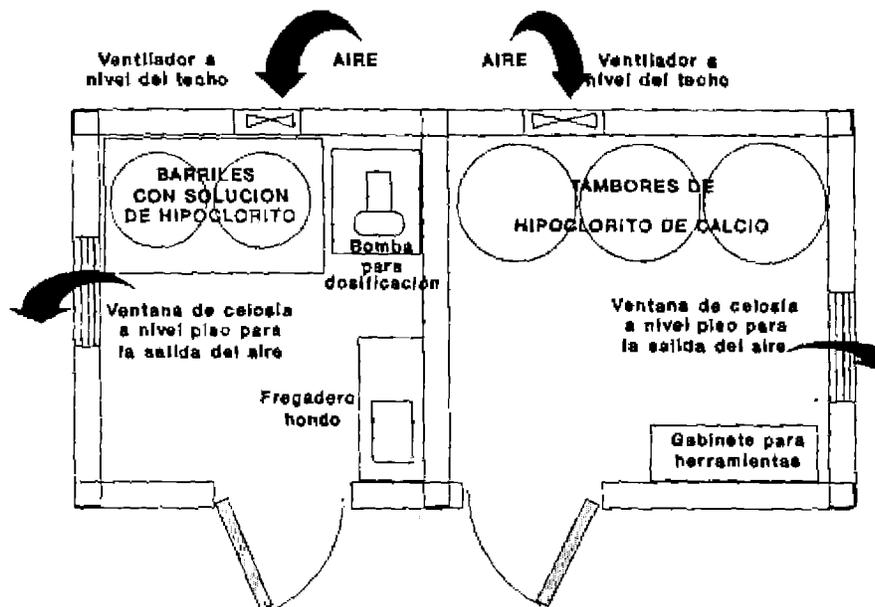
La concentración de la solución de hipoclorito es un factor importante en la durabilidad de las piezas de la bomba. Generalmente, mientras más fuerte sea la solución, más corta será la duración. Los materiales del diafragma tienen una vida útil relativamente corta debido a la constante flexión y oxidación por la solución de hipoclorito, por lo que es preciso cambiarlo periódicamente. Las válvulas de retención están expuestas a la deposición de calcio, por lo que hay que limpiarlas con una solución ácida para evitar un funcionamiento deficiente y tener que reemplazarlas con mayor frecuencia cuando pierdan su elasticidad debido a la oxidación.

Es preciso tener cuidado en el manejo de las soluciones de hipoclorito. Estas son sumamente corrosivas y, por consiguiente, las herramientas y los recipientes utilizados para prepararlas deben ser de plástico, cerámica u otro material resistente a la corrosión. El personal debe ser adiestrado en el manejo de derrames y en los procedimientos correctos para la operación y mantenimiento del equipo.

### d) Seguridad

El hipoclorito de calcio de alto contenido de cloro generalmente se obtiene con un 65% o un 70% de cloro disponible. Por razones de seguridad algunos países limitan la concentración al 65%. En condiciones normales, el hipoclorito de calcio

es un polvo relativamente estable; sin embargo, cuando entra en contacto con materiales orgánicos y otras sustancias oxidables, puede producirse una combustión espontánea. Los aceites, trapos, el carbón activado y los productos químicos oxidables en general son particularmente peligrosos al entrar en contacto con hipoclorito con más del 60% de cloro disponible. Por este motivo, los hipocloritos de calcio, a cualquier concentración, deben manejarse con mucho cuidado y conforme a reglas de seguridad claramente establecidas y seguidas. Los hipocloritos deben guardarse en recipientes herméticos y a prueba de humedad en habitaciones limpias, separadas y específicamente diseñadas, con ventilación apropiada y otras medidas preventivas. El hipoclorito debe almacenarse alejado de sustancias o materiales que puedan arder, pues incluso cantidades pequeñas de cloro que puedan escapar podrían ser suficientes para reaccionar con otras sustancias y comenzar un incendio o producir una explosión violenta. La Figura 25 muestra el plano de una instalación típica de hipocloración y el almacenamiento de hipoclorito.



**FIGURA 25**  
Plano típico de una instalación de hipocloración y  
almacén de hipoclorito

El hipoclorito de calcio se debe comprar en tambores duraderos y resistentes a la corrosión, que se puedan volver a sellar bien después de abrirlos. Deben evitarse las bolsas plásticas porque pueden desgarrarse al manipularlas. Al igual que con el gas de cloro, debe contarse con equipo de protección personal y usarse cuando se requiera. La solución de hipoclorito de sodio debe adquirirse en recipientes irrompibles, opacos y resistentes a la corrosión.

Cuando se manejen o preparen soluciones de hipoclorito deben usarse anteojos protectores, guantes y delantales hechos de materiales resistentes al cloro. Deben reducirse al mínimo las salpicaduras de soluciones, y cualquier derrame accidental sobre una persona se debe atender inmediatamente quitándose la ropa contaminada y lavándose bien las partes del cuerpo afectadas.

#### e) Costo

El costo de instalación de los cloradores del tipo de bomba de diafragma con controles eléctricos, tanque plástico para la solución y tuberías oscila entre EUA\$700 y \$1000. El costo de los compuestos de hipoclorito varía entre \$2,50 y \$4,60 por kilogramo. Se estima que el costo por persona por año oscila entre \$1,00 y \$3,00.

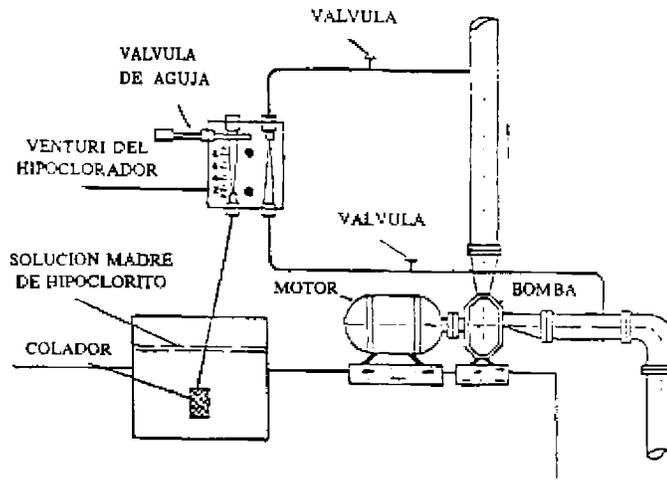
#### Hipoclorador de tipo Venturi

Este tipo de clorador se basa en el mismo principio que el de eyector empleado en los cloradores de gas. El vacío creado por el flujo del agua a través de un tubo Venturi succiona la solución de hipoclorito y la descarga directamente en la corriente de agua principal o en una corriente de derivación. La dosificación se regula ajustando una válvula de aguja. En las Figuras 26a y 26b se muestran los diagramas de instalaciones típicas.

El hipoclorador del tipo Venturi se obtiene fácilmente en el mercado y es producido por varios fabricantes en varios países de la Región. El costo es relativamente bajo y es fácil de instalar, operar y mantener. La capacidad de dosificación varía de alrededor de 1 a 25 litros/hora. Una ventaja importante es que si no fluye agua por el dispositivo, no se suministra solución de cloro, lo que reduce la probabilidad de una sobredosificación.

#### a) Requisitos de energía

El hipoclorador del tipo Venturi no requiere una fuente de energía separada si existe presión suficiente en el sistema de abastecimiento de agua en el punto de aplicación de la solución de cloro, para producir un flujo adecuado de agua por el Venturi. En otros casos, se necesitaría una fuente de energía eléctrica fiable para bombear una cantidad pequeña de agua a través del Venturi.



**FIGURA 26a**  
Esquema de una instalación de hipoclorador tipo Venturi

#### b) Requisitos de instalación

Un Venturi tiene un régimen de flujo relativamente estrecho dentro del cual funciona eficientemente. Por este motivo, se lo debe seleccionar de manera que sus requisitos hidráulicos concuerden con las características del sistema de abastecimiento de agua (flujo máximo y mínimo). Los equipos Venturi no se deben utilizar en condiciones de fluctuaciones amplias en el flujo y de presión que exceden el régimen operacional de estos. Solamente se deben usar instrumentos Venturi fabricados específicamente para soluciones oxidantes fuertes. Los materiales empleados en la construcción de la mayoría de los tubos Venturi son atacados por las soluciones de hipoclorito, por lo que deben evitarse, ya que pueden deteriorarse rápidamente.

Algunos de los hipocloradores Venturi son diseñados para ser instalados en una pared. Otros se instalan directamente sobre las tuberías. La instalación es suficientemente sencilla como para no requerir un especialista. Todas las tuberías y tubos de plástico flexible se deben instalar en forma nítida y ordenada para facilitar la operación y el mantenimiento. Debe tenerse en cuenta la remoción fácil del Venturi para limpiar los precipitados u otros depósitos que puedan obstruir el orificio. Al igual que con todos los hipocloradores, es preciso tomar precauciones especiales al diseñar las instalaciones de cloración y almacenamiento debido a la naturaleza reactiva de las soluciones de cloro.

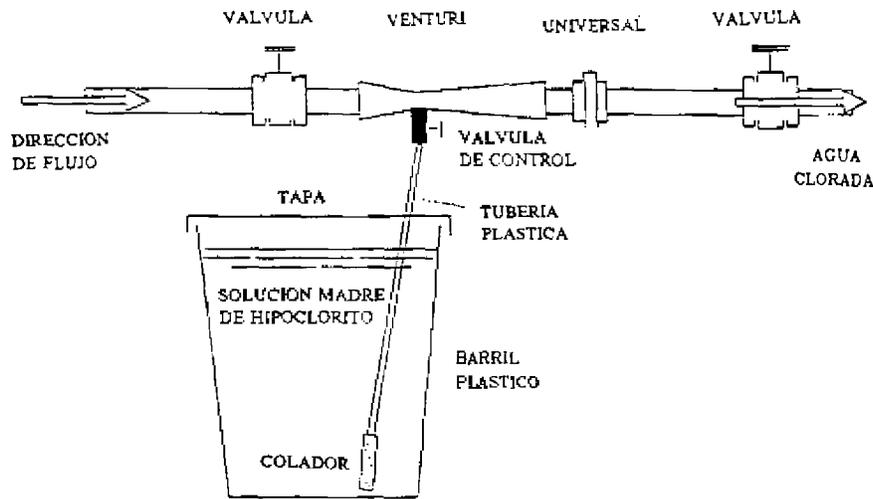


FIGURA 26b

*Esquema de una instalación de hipoclorador de tipo Venturi*

#### c) Operación y mantenimiento

Los hipocloradores del tipo Venturi no son muy precisos, especialmente cuando el flujo varía mucho; en consecuencia, en estos casos es necesario ajustar con frecuencia la dosificación. El Venturi de material acrílico tiene ventajas porque le permite al operador determinar visualmente cuando hay que limpiarlo, y además es muy resistente al hipoclorito. Todos los Venturi son sensibles a los depósitos de calcio que se pueden producir ya sea provenientes de la solución de hipoclorito o del agua dura. Los Venturi se deben limpiar rutinariamente, si fuera necesario con ácido para eliminar los depósitos más duros y otros precipitados o sedimentos. La mayoría de los empaques de las juntas, válvulas de retención, resortes y juntas tóricas con el tiempo se deterioran por estar en contacto con el hipoclorito, por lo que deben reemplazarse periódicamente. Estas piezas de repuesto deben ser del material apropiado y estar a mano en todo momento.

#### d) Seguridad

Este dispositivo de dosificación es muy seguro; sin embargo, cuando se preparan o manejan las soluciones madre de hipoclorito, deben tenerse en cuenta las

precauciones anotadas con anterioridad. Una de las ventajas de este tipo de hipoclorador, como ya se ha indicado, es que el proceso de dosificación de hipoclorito se detiene cuando el agua deja de fluir por el Venturi, reduciendo la probabilidad de un exceso de dosificación.

#### e) Costo

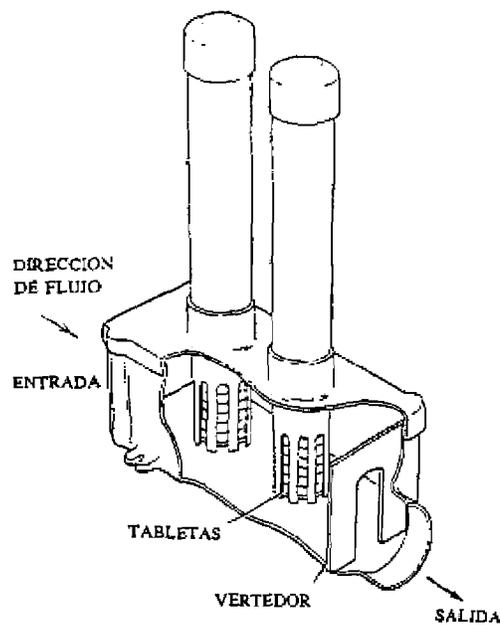
El costo (1994) varía entre EUA\$25 por un Venturi sencillo con válvula de control y \$150 por un Venturi con válvula de aguja para un control de precisión y un rotámetro indicador de la tasa de aplicación. El costo de instalación, incluyendo la tubería y una cuba o tanque de solución, es de alrededor de \$400. El costo del hipoclorito oscila entre \$2,50 y \$4,60 por kilogramo. El costo por persona por año se encuentra entre \$1,00 y \$3,00.

#### Desflocadores por erosión de tabletas y dosificadores de píldoras

Varios fabricantes producen dispositivos de desinfección que usan tabletas de hipoclorito de calcio para diversos fines. Estos han encontrado un lugar importante en el tratamiento de piscinas, aguas residuales, así como en la desinfección de abastecimientos de agua para comunidades pequeñas e individuales. Algunas autoridades de servicios de abastecimiento de agua en América Latina han desarrollado sus propios diseños y fabrican dosificadores por erosión de tabletas empleando materiales obtenibles localmente.

Los cloradores del tipo de erosión de tabletas normalmente utilizan tabletas de hipoclorito de calcio de alto contenido de cloro (65% a 70%) obtenibles en el mercado bajo diferentes marcas; sin embargo, hay que tener cuidado de que sean apropiadas para la desinfección de agua para consumo humano y no contengan sustancias como los cianuratos. En algunos casos las tabletas también las elaboran localmente los usuarios comprimiendo polvo de hipoclorito de calcio. Las tabletas pueden ofrecer varias ventajas sobre otras formas de cloro, según las circunstancias en las que se vayan a usar. En general, las tabletas son muy estables, más seguras y fáciles de manejar y almacenar. Los embalajes son de diferentes tamaños y varían desde latas pequeñas hasta cubetas y tambores. Las tabletas generalmente cuestan más que el polvo de hipoclorito, pero aún así el costo es razonable. La solubilidad de las tabletas es bastante constante a temperaturas entre cerca del punto de congelación y los 25°C. Esta es una consideración importante cuando se esperan variaciones en la temperatura del agua. Los dispositivos de dosificación son de costo relativamente bajo y duraderos ya que generalmente están hechos de materiales no corrosivos y no tienen partes móviles. El mecanismo de control de dosificaciones es básicamente un ajuste de la profundidad de inmersión de una columna de tabletas, que es sencillo pero no muy preciso.

Los dosificadores por erosión de tabletas (Figura 27) utilizan la tasa de solubilidad de los comprimidos de hipoclorito en el agua corriente. Las tabletas se disuelven gradualmente a una velocidad predeterminada a medida que el agua fluye a su alrededor, para proporcionar la dosificación requerida de cloro. Conforme se van disolviendo las tabletas, estas son reemplazadas por otras que generalmente caen por gravedad en la cámara de solución del hipoclorador. La descarga del clorador es una solución de agua clorada concentrada que luego pasa a un tanque, una cámara de contacto, un canal abierto, o un reservorio, según el caso.



**FIGURA 27**  
*Clorador típico de tabletas de cloro por erosión*  
(Cortesía de Sanilec)

Se ha diseñado un dispositivo similar al clorador de tabletas, el dosificador de píldoras, para suministrar hipoclorito de calcio directamente en pozos profundos

(o tanques) a una velocidad constante que pueda regularse. Las píldoras, al sumergirse, se disuelven lentamente, proporcionando un cloro residual razonablemente constante. Estos dosificadores son sumamente útiles para pozos contaminados con microorganismos molestos. Los dosificadores de píldoras también pueden emplearse para aplicar cloro a tanques de almacenamiento de agua.

#### **a) Requisitos de energía**

Fuera de la energía hidráulica necesaria para que corra el agua a través del dosificador por erosión de tabletas, no se requiere más energía. Este tipo de dosificador de cloro ofrece mucha flexibilidad, tanto en cuanto a la cantidad de cloro como a la ubicación de los puntos de aplicación. Para abastecimientos más grandes pueden usarse varios dosificadores. Los dosificadores de píldoras sí requieren energía eléctrica para operar.

#### **b) Requisitos de instalación**

La instalación de esta clase de dispositivos de dosificación requiere un adiestramiento especializado mínimo. En la mayoría de los casos se puede adiestrar a un operador con conocimientos básicos de plomería y tuberías; sin embargo, es preciso prestar atención a las instrucciones del fabricante para asegurar la durabilidad y una operación adecuada de acuerdo con las especificaciones. La Figura 28 ilustra la instalación de un dosificador de píldoras sobre un pozo y la Figura 29 muestra la instalación típica para cloradores del tipo de erosión de tabletas.

#### **c) Operación y mantenimiento**

Los dosificadores por erosión de tabletas y los de píldoras son sencillos de operar. Una vez calibrado el equipo, si no hay grandes variaciones en el flujo, normalmente requieren poca atención, excepto para cerciorarse de que el depósito esté lleno de tabletas para asegurar una dosificación continua. El mecanismo del dosificador de tabletas se debe inspeccionar con regularidad para detectar depósitos de calcio o si hay obstrucciones, teniendo cuidado de limpiarlo bien, volver a ponerlo en la posición correcta y calibrarlo. La inspección y el rellenado de tabletas dependerán de la instalación específica y serán una función de la dosificación de cloro y el volumen de agua tratada. Debido a la sencillez de operación del equipo, el personal se puede adiestrar rápidamente.