

CAPÍTULO 2

OPERACIÓN DE PLANTAS CONVENCIONALES Y DE TECNOLOGÍA APROPIADA

Autora:

Ing. Lidia Canepa de Vargas

1. INTRODUCCIÓN

Corresponden a esta clasificación sistemas de tratamiento de agua normalmente muy antiguos, constituidos por las siguientes unidades:

Pretratamiento:

- Desarenadores;
- presedimentadores o embalses.

Tratamiento:

- Unidades de medición del caudal.
- Mezcla rápida: generalmente no tienen este proceso o se ha agregado mezcla mecánica a partir de que los resultados de las investigaciones efectuadas indicaron su decisiva influencia en la eficiencia de todo el sistema de tratamiento.
- Floculación hidráulica o mecánica.
- Decantadores rectangulares de flujo horizontal.
- Filtros de tasa constante sin mayor equipamiento.
- Desinfección generalmente mediante cloración directa o al vacío.

2. UNIDADES DE PRETRATAMIENTO

2.1 Desarenadores

Estas unidades tienen por objeto remover la arena, la gravilla y las partículas minerales más o menos finas que acarrea el agua cruda, con el fin de evitar que se depositen en los



Figura 2-1. Desarenador con canal de desviación (1)

canales y conductos. Asimismo, buscan proteger las bombas y otros equipos de la abrasión y evitar que este material rellene las unidades de tratamiento restándoles capacidad.

a) Descripción

Normalmente tienen forma rectangular y pueden estar constituidos por una sola unidad con un canal de desviación (figura 2-1) o por varias unidades en paralelo. Esta última distribución es la más conveniente, porque permite alternar la operación de las unidades durante la limpieza.

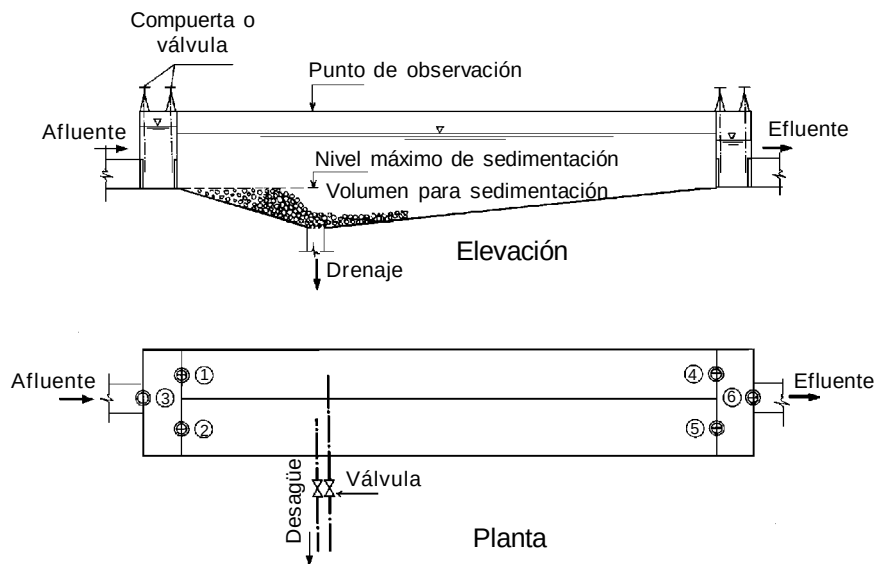


Figura 2-2. Esquemas de un desarenador (2)

b) Tipos de desarenadores

Una clasificación relativa a la forma de limpieza, la operación más importante en este tipo de unidades, es la siguiente:

- Unidades de limpieza manual;
- unidades de limpieza hidráulica;
- unidades de limpieza mecánica.

c) Operación

Puesta en marcha

- Limpiar bien la unidad extrayendo residuos de construcción.
- Cerrar la válvula o compuerta de desagüe.
- Abrir válvulas o compuertas de entrada y salida.
- Establecer un punto de observación para medir el nivel que va alcanzando la arena en la tolva de almacenamiento; usualmente es el punto más profundo.

Operación normal

- Controlar el nivel de depósito. Para este propósito, se puede utilizar un instrumento como el ilustrado en la figura 2-3.
- Cuando el depósito de material almacenado en la tolva alcance el nivel máximo, se procederá a la limpieza manual o hidráulica según el caso.
- Operar simultáneamente todas las unidades en paralelo para optimizar la remoción de partículas discretas.

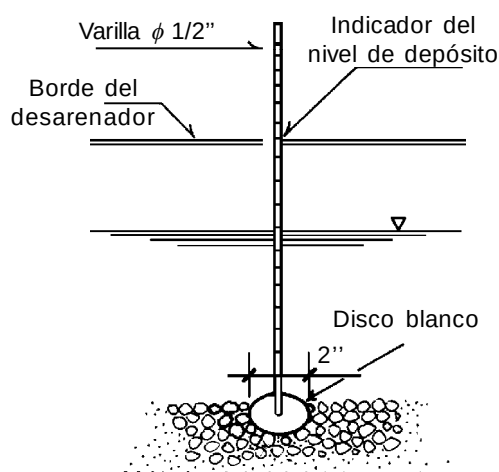


Figura 2-3. Varilla indicadora del nivel de depósito en la tolva (2)

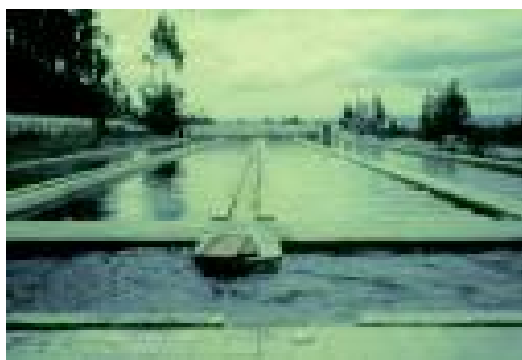


Figura 2-4. Unidades de presedimentación (1)

Operación de parada

- Cerrar compuertas de entrada y salida.
- Si no se dispone de más unidades de desarenación en paralelo, se abrirá el paso al canal de desviación. En estas condiciones, la operación de limpieza debe tener un tiempo de ejecución mínimo.

2.2 Presedimentadores

Eliminar las partículas grandes que acarrea el agua cruda, normalmente de tamaño mayor de un micrómetro (figura 2-4).

a) Descripción

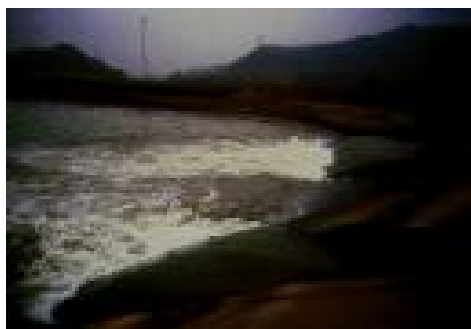


Figura 2-5. Embalse de agua cruda (1)

Las unidades de presedimentación tienen forma rectangular y flujo horizontal, son semejantes a los decantadores convencionales de este tipo, pero proyectadas con tasas superficiales más bajas, debido a que no hay coagulación previa.

Los embalses también tienen una función reguladora del caudal de operación de la planta y, en algunos casos, se aprovecha el amplísimo

tiempo de retención que proporcionan para aplicar la precloración en la entrada.

La figura 2-5 muestra un embalse que desempeña estas tres importantes funciones.

b) Operación

Puesta en marcha

- Retirar los residuos de construcción, limpiar la unidad y llenarla.
- Establecer el caudal de proyecto. Regular la válvula de ingreso hasta que en el vertedero de entrada se obtenga el tirante de agua correspondiente al

caudal de proyecto. Ver el procedimiento en “Unidades de medición de caudal”.

Operación normal

- Controlar el nivel de depósito. Para este propósito, se puede utilizar un instrumento como el mostrado en la figura 2-3.
- Cuando el depósito de material almacenado en la tolva alcance el nivel máximo, se procederá a la limpieza manual o hidráulica según el caso.
- Operar simultáneamente todas las unidades en paralelo para optimizar la remoción de partículas discretas.

Operación de parada

- Cerrar compuertas de entrada y salida.
- Si no se dispone de más unidades en paralelo, se abrirá el paso al canal de desviación. En estas condiciones, la operación de limpieza debe tener un tiempo de ejecución mínimo.

Nota: Debe ejecutarse una *operación especial de limpieza* antes de empezar el periodo de lluvia y al terminar este (ver capítulo 1, sección 3).

3. UNIDADES DE TRATAMIENTO

3.1 Medidores de caudal

Para que las unidades de tratamiento y los procesos que ocurren en ellas funcionen satisfactoriamente, de acuerdo con los parámetros con los que fueron proyectadas, es necesario ajustar la operación de la planta al caudal de proyecto. Por lo tanto, el comportamiento de esta unidad es importantísimo en la operación de la planta.

3.1.1 Tipos de medidores

Los medidores se clasifican en unidades de contorno abierto y de contorno cerrado. Las primeras son las que operan en un canal como los vertederos, canaleta

Parshall y el Palmer-Bowlus. Las de contorno cerrado son el medidor Venturi, Toberas, platina de orificio, medidores de velocidad y de derivación (proporcional).

3.1.2 Calibración de medidores de caudal

Canaleta Parshall

a) Descripción

Las canaletas Parshall pueden trabajar con descarga libre o sumergida (o ahogada), dependiendo de la relación $S = H_2/H_1$ (grado de sumergencia).

Esta relación es la que determina si en un momento dado el medidor trabaja con descarga libre o ahogado. Estas características de escurrimiento están determinadas por los valores límite indicados en el cuadro 2-1.

Cuadro 2-1. Valores límite para determinar las condiciones de escurrimiento (2)

Ancho de garganta W (m)	Descarga libre	Descarga ahogada
0,30	$S < 0,60$	$0,60 < S < 0,95$
0,30 – 2,50	$S < 0,70$	$0,70 < S < 0,95$
2,50 – 15,0	$S < 0,80$	$0,80 < S < 0,95$

Para determinar el caudal en un medidor de descarga libre, es suficiente establecer la carga H y sustituirla en la expresión general:

$$Q = KH^n$$



Figura 2-6. Canaleta Parshall en operación (1)

Donde:

Q = caudal (L/s)
 H = altura de agua en la sección de medición
 n y K = constantes específicas de cada unidad

b) Calibración

- Fijar una regla graduada en el punto de medición de la canaleta, de tal manera que el cero de la escala coincida con el nivel de agua a caudal cero.
- En el caso de no existir pozo de medición, fijar la regla a $2/3$ de longitud de la transición de entrada, con respecto al inicio de la garganta de la canaleta (ver figura 2-7).

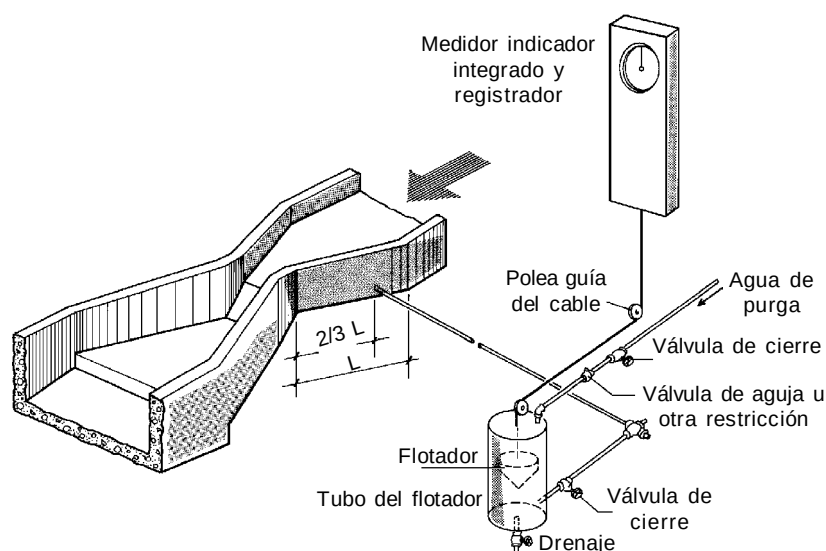


Figura 2-7. Medidor tipo canaleta Parshall (2)

- Seleccionar un mínimo de 4 valores de altura de agua y determinar el caudal correspondiente por uno de los métodos conocidos (volumétrico, trazadores, etcétera). Ver procedimiento para calibración por trazadores en el capítulo 2 de *Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada*.

Medidor de derivación

a) Descripción

Un medidor de derivación es fundamentalmente un tubo de derivación provisto de un hidrómetro, como se puede apreciar en la figura 2-8. El principio de funcionamiento es la proporcionalidad existente entre el volumen que pasa por el tubo principal y el que pasa por el hidrómetro ubicado en la tubería de derivación.

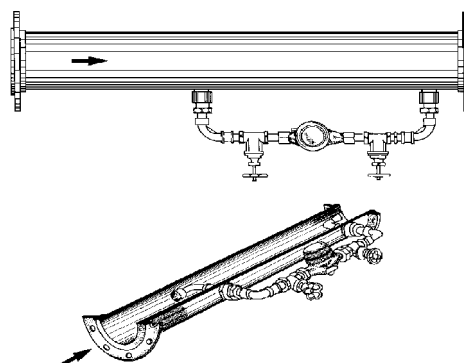


Figura 2-8. Medidor de derivación o medidor proporcional (2)

b) Calibración

- Colocar en la tubería principal un punto de pitometría ubicado a un mínimo de 20 veces el diámetro aguas arriba o abajo del medidor proporcional o cualquier pieza especial de la tubería.
- Determinar por pitometría o cualquier otro método de medición el volumen líquido que pasa por la tubería principal en un tiempo determinado.
- Determinar el volumen que pasó por el hidrómetro, tomando la diferencia entre la lectura inicial y la final.

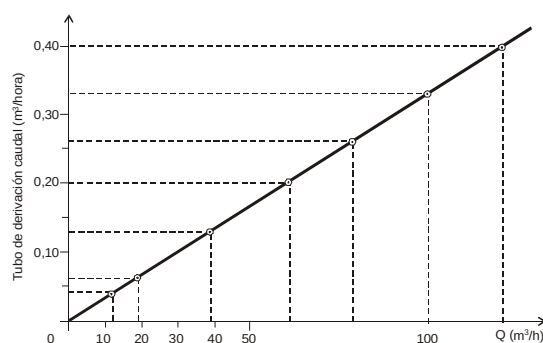


Figura 2-9. Curva de correlación lineal para medidor de derivación (proporcional) (2)

- Repetir los pasos anteriores por lo menos para cuatro caudales diferentes.
- Construir la curva de correlación lineal entre los volúmenes registrados en el tubo principal y el tubo de derivación, como se ilustra en la figura 2-9.

3.2 Coagulación

La operación de este proceso involucra el manejo y dosificación de las sustancias químicas, además de la operación de los equipos dosificadores.

3.2.1 Sustancias químicas

Las principales sustancias químicas utilizadas en el tratamiento del agua son:

- a) Coagulantes:
 - sulfato de aluminio;
 - sulfato ferroso;
 - sulfato ferroso clorado;
 - sulfato férrico;
 - policloruro de aluminio (PAC);
 - polielectrolitos.
- b) Auxiliares de coagulación:
 - bentonita;
 - carbonato de calcio;
 - silicato de sodio;
 - gas carbónico;
 - polielectrolitos
- c) Modificadores de pH
 - cal hidratada;
 - carbonato cálcico;
 - carbonato de sodio;
 - ácido clorhídrico.
- d) Desinfectantes
 - cloro y sus compuestos clorados;
 - hidróxido de amonio;
 - sulfato de amonio;
 - ozono.
- e) Fluoruración
 - fluorosilicato de sodio-silico-fluoruro de sodio;
 - fluoruro de calcio (fluorita);
 - fluoruro de sodio.

3.2.2 Manejo de sustancias químicas

Esta actividad involucra las siguientes etapas:

recepción;
transferencia;
almacenamiento.

a) Recepción de sustancias químicas

Para la recepción de las sustancias químicas en todas sus presentaciones (sólido, líquido o gas), se deben conocer la cantidad y las especificaciones técnicas del producto solicitado. La recepción se efectuará atendiendo a los criterios que se exponen a continuación.

Criterio físico

- Determinar el peso de cada envase o tomar una muestra representativa del lote.
- Verificar que la cantidad total coincida con la cantidad solicitada.
- Chequear el estado de los envases y descartar los que estén en mal estado.
- Observar el rótulo de los envases para comprobar el producto que se recibe.
- Verificar la presentación del producto (sólido, líquido o gas) y chequear con lo solicitado.

Criterio químico

La composición química de la sustancia se determina en el laboratorio, con una muestra representativa del lote.

Especificaciones de las sustancias químicas

Todas las sustancias químicas usadas en el tratamiento del agua de consumo humano tienen especificaciones técnicas, normadas por organismos reconocidos internacionalmente o por las normas nacionales existentes en el país. Una de las sustancias químicas más utilizadas en el tratamiento del agua es el sulfato de aluminio. Las especificaciones de la American Water Works Association (AWWA) correspondientes aparecen en el cuadro 2-2.

Cuadro 2-2. Especificaciones técnicas del sulfato de aluminio (2)

Parámetros		Estado físico		
		Terrones	Granular	Líquido
Impurezas objetables		No	No	No
Granulometría*		100% pasa 3"	90% pasa # 10	—
Claridad		—	—	Razonable
Contenido de alúmina	Al ₂ O ₃	17%	17%	8%
	Al soluble en el agua	9%	9%	4,25%
Contenido de hierro Fe ₂ O ₃		0,75%	0,75%	0,35%
Material o insoluble suspendido	Sin purificar	10%	10%	—
	Purificado	0,5%	0,5%	0,2%

* USA Standard Z 23.1-1961 (ASTM E-11-61).

Otra de las sustancias químicas más utilizadas es la cal, cuyas especificaciones se indican en el cuadro 2-3.

Cuadro 2-3. Especificaciones técnicas de la cal hidratada

Características		Valor recomendado
Composición		Ca (OH) ₂
Ca (OH) ₂		32-99%
Contenido de	CaO	62-78% (STD 66%)
	Mg(OH) ₂	0
Granulometría		En polvo
Color		Blanco
Peso libra/pie ³		30-50
Solubilidad 100 g		0,18-0 °C
		0,16-20 °C
		0,15-30 °C
pH solución saturada		12,4
Ángulo de reposo		Variable
		0°-90°
Impurezas		No objetable

b) Almacenamiento

Las sustancias químicas en estado sólido (granular) y con envase de bolsas de papel, plásticos o fibras son las más comunes.

Criterios de operación

- Almacenar las sustancias químicas sobre tarimas de madera (nunca en contacto con el piso o la pared).
- No depositar sustancias químicas nuevas sobre las existentes.
- La altura máxima de apilamiento no debe ser mayor de 2 metros para acarreo manual.
- La altura máxima de apilamiento no debe exceder de 3 metros para acarreo mecánico mediante cargadores frontales.
- Dejar pasillos para tránsito de 1,50 metros entre la pila y la pared y de un metro entre las pilas de bolsas.



Figura 2-10. Forma correcta de almacenamiento (1)



Figura 2-11. Forma incorrecta de almacenamiento (1)

- Mantener la bodega seca y bien ventilada.
- No almacenar en la misma bodega sustancias que puedan reaccionar.
- Las pilas deben hacerse ordenadamente, de tal manera que se facilite al almacenero el recuento de las bolsas.

c) Transferencia

Dependiendo de la sustancia química que se maneje, deben preverse todas las medidas de seguridad necesarias. Para la transferencia de las sustancias químicas, se usan varios tipos de equipos mecánicos, algunos de ellos muy simples como los que se muestran en la figura 2-12.

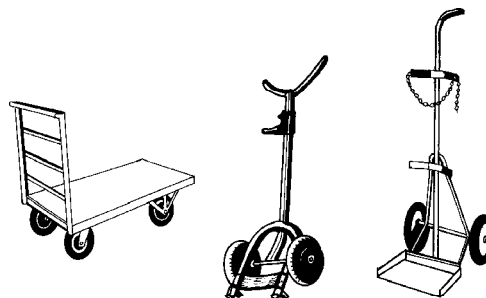


Figura 2-12. Equipos para transferencia manual (2)

En el cuadro 2-4 se indican las precauciones y medidas de seguridad que deben tenerse en cuenta para la transferencia de sustancias químicas.

Cuadro 2-4. Manejo de sustancias químicas (2)

Sustancia química	Precauciones y equipos de protección					
	Guantes de hule	Máscara contra el polvo	Protector de ojos	Protector de la piel	Detector de fugas	Respirador de oxígeno
Sulfato de aluminio	x	x		x		
Sulfato ferroso	x	x		x		
Polímeros	x					
Cal viva	x	x	x	x		
Sales de flúor	x	x	x	x		
Gas cloro	x		x		x	x

3.2.3 Dosificación

Para operar correctamente los equipos de dosificación, se requiere determinar los parámetros óptimos de dosificación mediante pruebas de laboratorio y mantener los equipos bien calibrados.

Parámetros de dosificación

- Dosis óptima de coagulante (mg/L)

Es la que produce la mejor desestabilización de las partículas coloidales, permite la formación de un flóculo pesado y compacto que pueda ser fácilmente retenido en los decantadores y que no se rompa al pasar por los filtros. Usualmente la dosis de sulfato de aluminio en la clarificación de las aguas varía entre 10 y 150 mg/L.

- Concentración óptima

Es la concentración de la solución del coagulante que optimiza el proceso de coagulación. Generalmente varía entre 1% y 2%.

- pH óptimo

La concentración de iones de hidrógeno de la mezcla de agua y de iones de aluminio o férricos es de fundamental importancia en la formación del flóculo. A continuación se dan los rangos de pH con los cuales se optimiza la coagulación para remover:

Color: 4,0 a 6,0

Turbiedad: 6,5 a 7,0

Ver equipos, materiales y procedimientos en el capítulo 11 de *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría*.

Tipos de dosificadores

Son equipos que liberan una cantidad prefijada de producto químico por unidad de tiempo. Pueden operar con el producto seco o en solución. Atendiendo a la forma del producto que aplican, se pueden cla-



Figura 2-13. Dosificador gravimétrico de correa transportadora (1)

sificar como equipos de dosificación de sustancias en seco, equipos de dosificación de sustancias en solución y equipos de dosificación de sustancias en forma de gases.

a) Dosificadores en seco

Dosifican productos como el sulfato de aluminio, la cal, sales de flúor, etcétera, en su forma seca. Se clasifican en *gravimétricos* y *volumétricos*, en función de la forma en que miden la cantidad de producto químico que aplican.

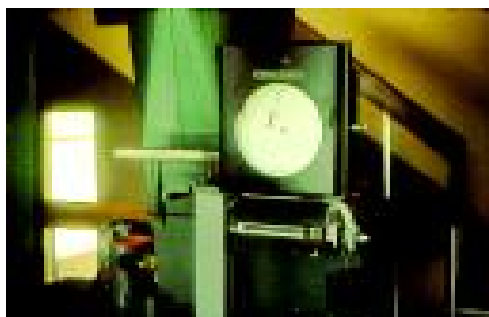


Figura 2-14. Dosificador gravimétrico de pérdida de peso (1)

Gravimétricos: el mecanismo de medición es del tipo de pérdida de peso, de correa transportadora, de tolva oscilante (ver figuras 2-13 y 2-14).

Volumétricos: el mecanismo de dosificación es del tipo de tornillo giratorio, de disco giratorio, etcétera (figura 2-15).

Calibración de dosificadores en seco

Para la aplicación de la dosis óptima, se requiere que el dosificador se encuentre bien calibrado. El procedimiento para efectuar esta tarea se encuentra descrito en el capítulo 3 de *Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada*, por constituir también un procedimiento de evaluación de estas unidades.

Siguiendo el procedimiento mencionado, levantar la curva de calibración del dosificador y la curva de calibración de la válvula del tanque de solución (ver figuras 2-16 y 2-17).



Figura 2-15. Dosificador volumétrico (1)

Ajuste de la dosis

La operación principal es el ajuste de la dosis.

- Determinar la dosis óptima necesaria.
- Calcular la concentración óptima (C) de la solución.
- Medir el caudal que está entrando a la planta.
- Calcular la cantidad de sustancia química necesaria.

$$P = D \cdot Q / 1.000$$

P = peso de la sustancia química en kg/min

Q = caudal por tratar en m^3/min

D = dosis óptima (mg/L)

- Seleccionar la abertura necesaria del regulador del dosificador utilizando la curva de calibración del equipo (figura 2-16).

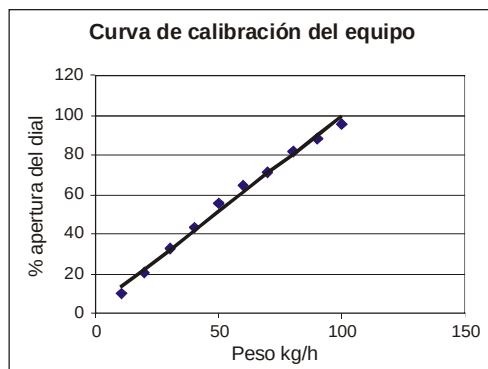


Figura 2-16. Curva de calibración del equipo (1)

$$q = Q \cdot D/C$$

q = caudal de solución en L/min o m^3/h

C = concentración óptima de la solución preparada

Operación de dosificadores de tipo gravimétrico

En este tipo de unidades la cantidad de producto químico por dosificar se efectúa por peso de material o por diferencia de peso del material disponible para ser dosificado.

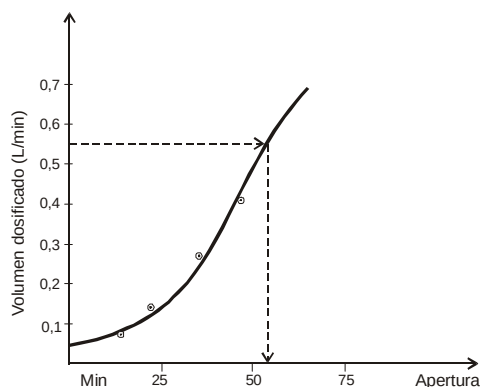


Figura 2-17. Curva de calibración de la válvula de agua (2)

a) Dosificador gravimétrico de correa transportadora

Descripción del equipo

El material liberado por la tolva se deposita sobre una correa transportadora que pasa sobre la plataforma de una balanza, la cual es regulada para recibir un peso que corresponda a la dosificación deseada.

Cuando el peso del material que cae sobre la correa transportadora coincide con el peso prefijado, una válvula reajusta la cantidad de material excesivo para equilibrar el sistema. La variación de velocidad de la correa aumenta el rango de dosificación del equipo (ver figura 2-18).

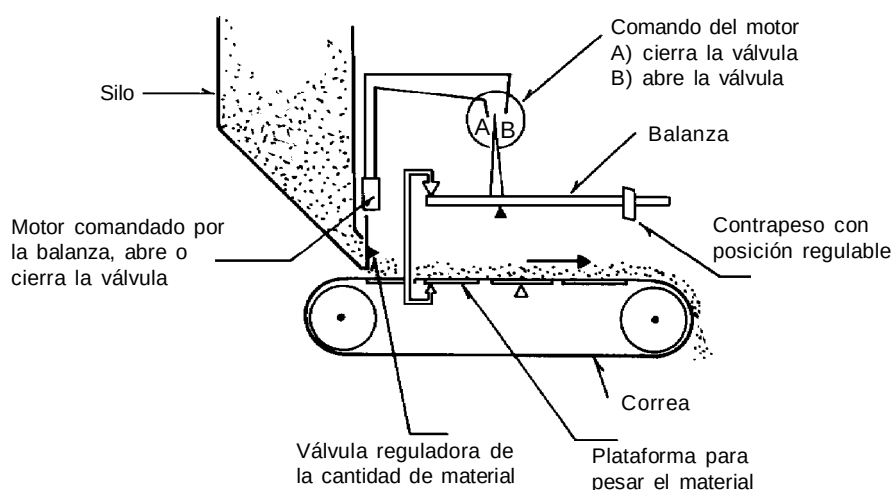


Figura 2-18. Gravimétrico de correa transportadora (2)

Operación de puesta en marcha

- Colocar el contrapeso (1) en el punto seleccionado del brazo de palanca (ver figura 2-19).
- Abrir la compuerta de la tolva operando el volante (2) que está en la parte superior de ella, para llenar de sustancia química la tolva del dosificador.
- Fijar la cantidad de sustancia química por dosificar, graduando la velocidad de la correa transportadora a una velocidad constante por medio del selector de dosificación (3), previamente calibrado (figura 2-16).

- Abrir la válvula de aguja de suministro del agua en la apertura en que se obtenga la concentración óptima para la dosis por aplicar, por medio de la curva de calibración de la figura 2-17.
- Arrancar el agitador mecánico del tanque de solución y verificar su correcto funcionamiento.
- Con el caudal ya determinado, entramos al gráfico de calibración de la figura 2-17 y determinamos la posición de la válvula de aguja.

Operación normal

- Verificar el afluente y efluente de la cámara de solución.
- Arrancar el motor del dosificador.
- Verificar que se está efectuando la dosificación de sustancias químicas en la cámara de mezcla rápida.

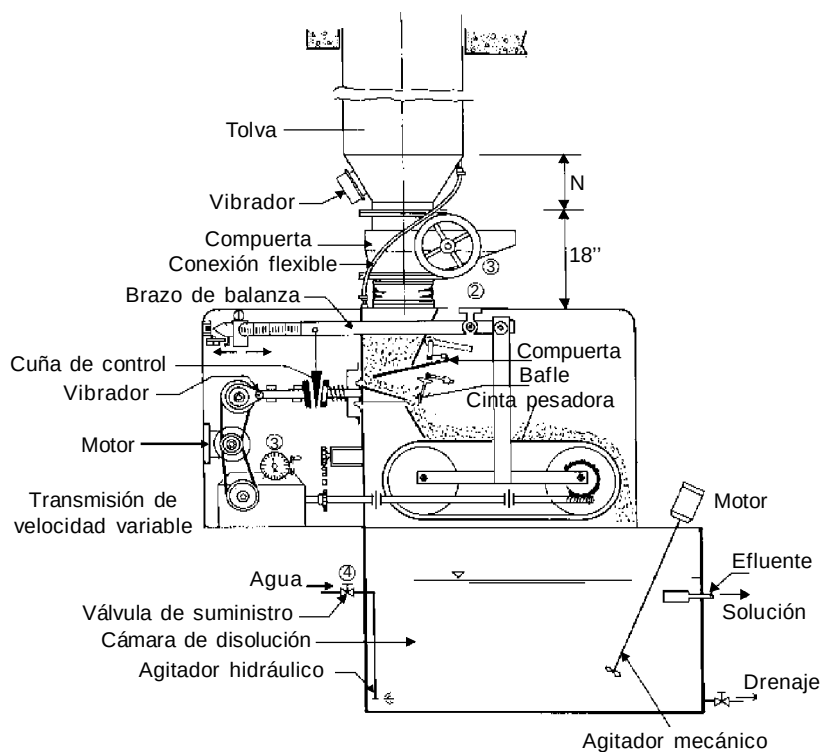


Figura 2-19. Dosificador gravimétrico del tipo correa transportadora (2)

Parada del dosificador

- Accionar el interruptor a la posición de parada.
- Parar el agitador mecánico.
- Cerrar la válvula de alimentación de agua a la cámara de solución.

b) Dosificador gravimétrico de pérdida de peso

Descripción del equipo

Estos equipos miden la cantidad de material por dosificar según la diferencia de peso de la tolva que contiene el material y que se apoya en una balanza equilibrada mediante un contrapeso móvil. El movimiento del contrapeso se hace con un desplazamiento proporcional a la dosificación deseada y no en el sentido correspondiente al equilibrio de cargas sucesivamente menores (ver figura 2-20).

Puesta en marcha

- Asegurar el brazo de la balanza mediante el dispositivo de seguridad situado debajo de este.
- Mover el contrapeso a un peso menor que el deseado en la tolva para evitar exceder la cantidad requerida.
- Cerrar la compuerta inferior de salida. Accionar la palanca marcada con el número 3, para prevenir que el material se derrame.
- Liberar el brazo de la balanza, para permitir el libre funcionamiento.
- Mover el contrapeso en el sentido indicado, hasta que deje de sonar la alarma, lo que significa que llegó a su posición.

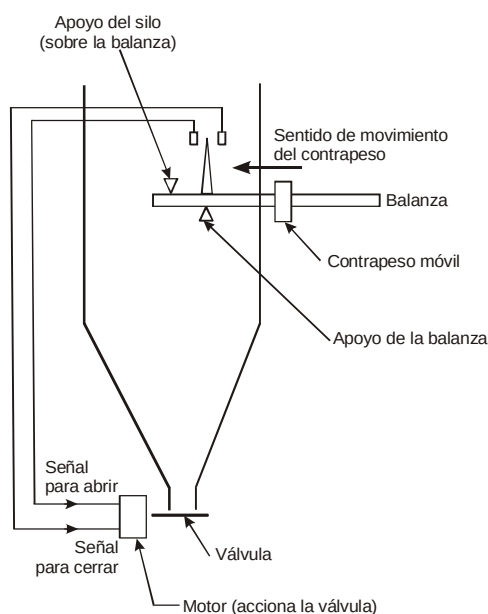


Figura 2-20. Dosificador gravimétrico de pérdida de peso (2)

- Llenar lentamente la tolva, accionando el volante que se encuentra en la parte superior hasta que suene la alarma del dosificador.
- Abrir la compuerta inferior de salida, accionando la palanca en el sentido indicado para dejar pasar la sustancia química hasta el tanque de solución.
- Fijar la carga de dosificación colocando el selector del dosificador en la cantidad requerida, habiendo calibrado previamente el dosificador.
- Abrir la válvula de alimentación de agua a la cámara de solución, hasta la apertura indicada en la curva de calibración respectiva, a fin de obtener la concentración requerida del coagulante para la dosis aplicada.
- Arrancar el agitador mecánico del tanque de solución.

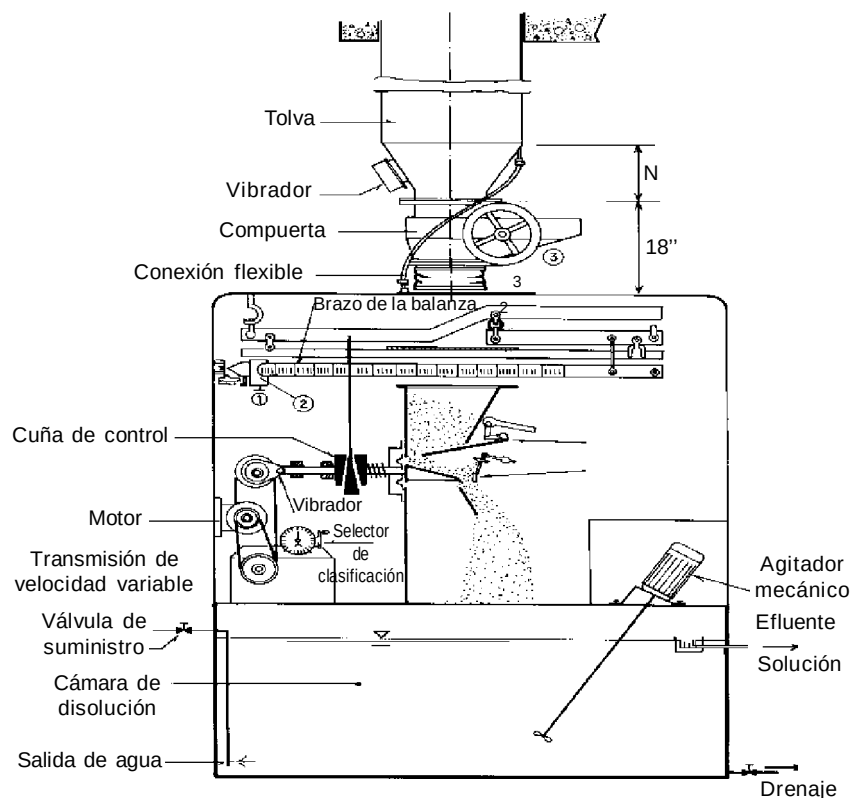


Figura 2-21. Dosificador gravimétrico tipo pérdida de peso (2)

Operación normal

- Verificar el afluente y el efluente de la cámara de solución.
- Encender el motor del dosificador.
- Verificar que se está efectuando la aplicación en la cámara de mezcla rápida.

Parada del equipo

- Accionar el interruptor del motor a la posición de parada.
- Cerrar la válvula de alimentación de agua a la cámara de solución.
- Parar el agitador mecánico.

Operación de los dosificadores volumétricos

En la gran mayoría de los dosificadores de este tipo, la medición del volumen liberado se efectúa mediante la formación de una capa uniforme de material químico sobre una superficie que se desplace con velocidad constante.

Se obtiene la dosificación deseada por medio de la variación de la velocidad de desplazamiento, por medio del aprovisionamiento parcial de la capa o de la variación del espesor de la capa formada.

A la salida del silo de alimentación del dosificador, existe un dispositivo adecuado para proporcionar una dosificación continua de volúmenes medidos.

- a) Dosificador en seco volumétrico del tipo tornillo giratorio.

Descripción

Funciona por medio de un tornillo sumergido en la masa del producto químico que va a ser dosificado, el cual es arrastrado por su movimiento en el sentido del eje de rotación (figura 2-22).

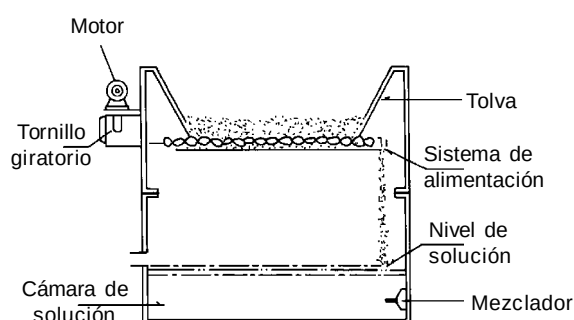


Figura 2-22. Dosificador volumétrico del tipo tornillo giratorio (2)

Puesta en marcha

- Abrir la válvula de aguja (1) de alimentación de agua a la cámara de solución, de acuerdo con la curva de calibración de la válvula (figura 2-17).
- Arrancar el agitador mecánico.
- Llenar lentamente la tolva, hasta su máxima capacidad.
- Ajustar la dosis girando la perilla o dispositivo de control (2), de acuerdo con la curva de calibración (figura 2-16) y la prueba de jarras efectuada.

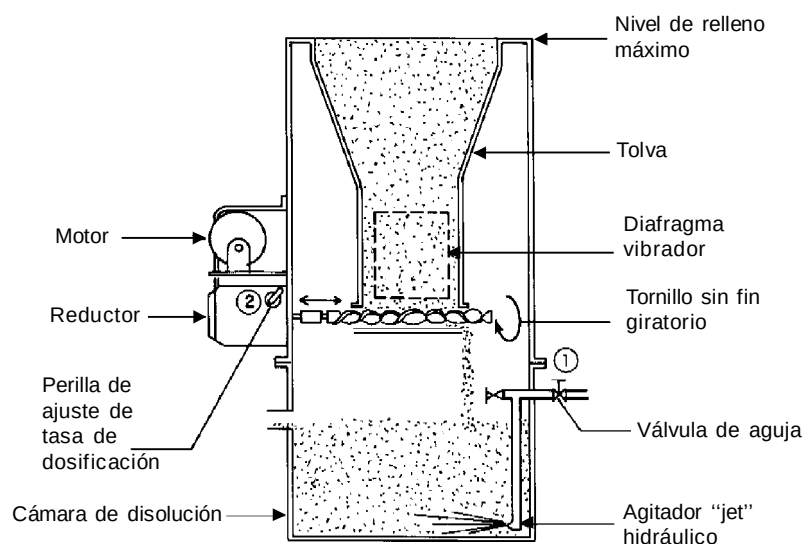


Figura 2-23. Dosificador volumétrico de tornillo giratorio (2)

Operación normal

- Arrancar el motor del dosificador.
- Verificar la salida de sustancias químicas por el tornillo giratorio.
- Verificar el afluente y efluente de la cámara de solución.
- Ajustar la amplitud de vibración y el reloj contador del diafragma vibrador.
- Se debe usar la menor vibración posible.

Parada del equipo

- Accionar el botón del interruptor en la posición de parada.
- Parar el agitador mecánico del tanque de solución.
- Cerrar la válvula de ajuste fino que alimenta la cámara de solución.

b) Dosificadores en solución

Utilizados para dosificar por vía húmeda o para dosificar líquidos. Se clasifican en:

Medidores de velocidad

En esta clasificación se consideran los dosificadores de:

- orificio de carga variable o constante;
- Venturi;
- rotámetros.

Dispositivos medidores volumétricos:

Bomba de diafragma;
bomba de pistón;
recipientes calibrados.

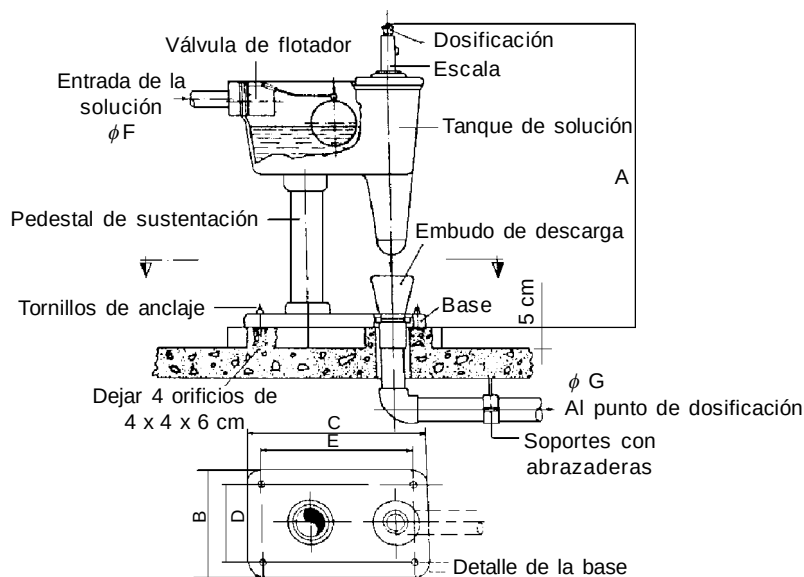
c) Dosificadores de orificio de carga constante

Descripción del equipo

Consta de un tanque número 1 para la preparación de la solución y de un tanque número 2 o equipo dosificador (figuras 2-24 y 2-25). En el equipo dosificador se mantiene por medio de una válvula de boya una carga constante sobre un orificio sumergido. La dosificación se efectúa mediante el orificio sumergido en la solución, cuyo tamaño se gradúa para obtener la dosificación deseada.



Figura 2-24. Tanque de preparación de la solución (1)



Dimensiones:

Tamaño	Capacidad	A	B	C	D	E	φF	φG
1	0 - 400 L/h	760	200	400	140	340	3/4"	1 1/2"
2	0 - 1.000 L/h	760	200	400	140	340	1"	1 1/2"
3	0 - 2.500 L/h	880	310	530	250	470	1 1/2"	2"
4	0 - 4.000 L/h	880	310	530	250	470	2"	2 1/2"

Medidas en milímetros

Figura 2-25. Tanque dosificador (2)

Operación de puesta en marcha

Levantar la curva de calibración del dosificador de acuerdo con el procedimiento indicado en el capítulo 3 de *Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada*.

Preparación del tanque de solución:

- Cerrar la válvula de desagüe del tanque de solución.



Figura 2-26. Dosificadores en solución del tipo de orificio (1)

- Determinar el volumen útil (V_u) del tanque de solución (altura por debajo del rebose).
- Si el tanque no tiene rebose, dejando un borde libre, marcar con pintura el nivel máximo por debajo del cual se tendrá el volumen útil disponible.
- Llenar el 50% del volumen del tanque.
- Calcular el peso del sulfato de aluminio necesario para obtener la concentración óptima:

$$P = V_u \cdot C$$

Por ejemplo, si el tanque tiene un volumen útil (V_u) de 2,5 metros cúbicos y la concentración óptima obtenida en el laboratorio es de 2% ó 20.000 mg/L, el peso (P) que se agregará al tanque para obtener esta concentración es de:

$$P = [(2,5 \text{ m}^3) (20.000 \text{ mg/L}) (10^3)] / (10^6)$$
$$P = 50 \text{ kg} = 1 \text{ bolsa}$$

Para evitar errores, siempre dejar estandarizada esta tarea de manera que el operador deba agregar un número entero de bolsas.

- Agregar al tanque el número de bolsas de sulfato determinado y completar el llenado del tanque.
- Encender el agitador eléctrico de una a dos horas, hasta que el sulfato esté totalmente disuelto, o agitar la solución con una paleta hasta que todo el sulfato de aluminio se haya disuelto por completo y se obtenga una solución homogénea.
- Dejar sedimentar la solución por un periodo de 2 a 3 horas.
- Iniciar la dosificación cuando el floculador esté lleno.

Operación normal

- Calcular el caudal de solución (q) que se debe aplicar para reproducir la dosis óptima determinada:

$$q = Q \cdot D/C$$

Donde:

- Q = caudal de operación de la planta.
 D = dosis óptima determinada en el laboratorio.
 C = concentración óptima obtenida en el laboratorio.

Ejemplo: Se desea calcular el caudal de solución de sulfato de aluminio requerido para un caudal de agua de 50 L/s, una dosis de 20 mg/L y una concentración de 2%.

$$q = 50 \text{ L/s} \times 20 \text{ mg/L} / 20.000 \text{ mg/L}$$
$$q = 0,05 \text{ L/s} \text{ ó } 3,0 \text{ L/min}$$

- Entrar con este valor a la curva de calibración del dosificador y determinar la posición que debe darse al tornillo de regulación para ajustar la dosis óptima deseada.
- Abrir la válvula de salida de la solución.
- Verificar que la dosificación se esté efectuando en forma correcta.
- Preparar el tanque de solución alternativo para efectuar el cambio apenas se agote el anterior. No debe pasar agua sin dosificar porque la eficiencia de todo el sistema se deteriora.

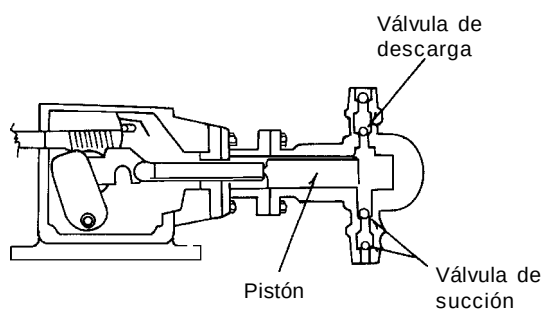
d) Dosificación en solución por bombeo

Descripción del equipo

Se emplean bombas aspirantes impelentes de diafragma o de pistón, accionadas por un conjunto motor reductor donde el desplazamiento del diafragma o pistón puede ser regulado con una frecuencia de movimientos de desplazamiento alternados, lo que permite ajustar el volumen y, en consecuencia, la dosificación.



Figura 2-27. Dosificador de solución con bomba (1)

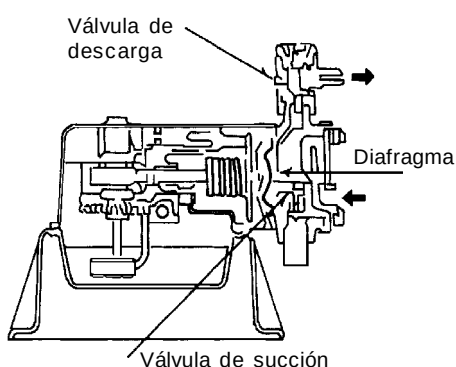
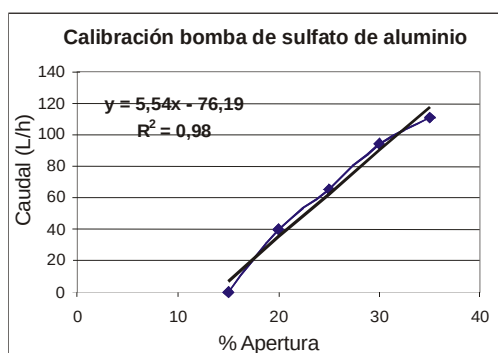
**Figura 2-28.** Bomba dosificadora de pistón (2)*Operación de puesta en marcha*

- Preparar el tanque de solución de acuerdo con el procedimiento anteriormente descrito.

Operación normal

- Arrancar el motor de la bomba.

- Aflojar con la mano la tuerca de descarga del cabezal, para drenar el aire de la manguera y la bomba.
- Mover el conducto de succión dentro del tanque de solución, hasta que la solución pase a través del cabezal y salga por el conducto de descarga.

**Figura 2-29.** Bomba dosificadora de diafragma (2)**Figura 2-30.** Curva de calibración de la bomba (1)

- Ajustar con la mano la tuerca de unión para evitar el escape de solución.
- Verificar que la manguera flexible de succión y las conexiones no presenten fugas de solución ni contengan aire, para que la solución fluya libremente por la manguera de succión.

- Determinar en la curva de calibración de la bomba la apertura en la que se debe colocar el selector de la bomba (figura 2-30).
- Para ajustar la dosis, se opera el selector de apertura de dosificación de la bomba al porcentaje deseado, girándolo lentamente en el sentido indicado para comenzar la dosificación (véase la figura 2-31).



Figura 2-31. Selector de dosificación de la bomba (1)

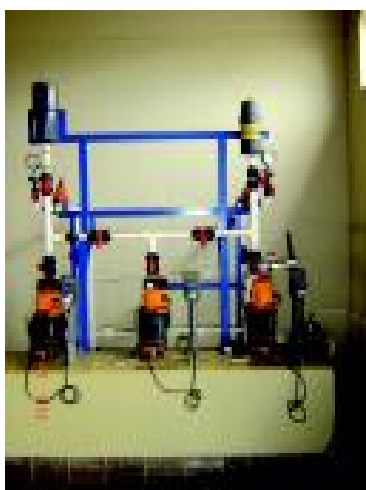


Figura 2-32. Sistema de dosificación por bombeo (1)

Operación de parada

- Accionar el interruptor de la bomba a la posición de parada.
- No sacar la manguera de succión de la bomba para evitar que se descargue.

La figura 2-32 muestra un sistema de dosificación en solución con bombas centrífugas y rotámetros para ajustar el caudal de solución.

3.3 Mezcladores

El objetivo de estas unidades en el proceso de coagulación es la obtención de las condiciones de gradiente de velocidad y tiempo de retención para producir una mezcla homogénea del coagulante con la masa de agua y lograr la máxima desestabilización de las partículas.

3.3.1 Tipos de mezcladores

Según la forma de generar la energía para obtener el gradiente de velocidad, estas unidades se clasifican en retromezcladores o mezcladores mecánicos y mezcladores hidráulicos.

3.3.2 Parámetros de operación

Como ya hemos visto en la teoría de mezcla (cap. 5 de *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría*), los parámetros de este proceso son el gradiente de velocidad, que para que el proceso sea óptimo, debe variar entre 700 y 1.200 s^{-1} , y el tiempo de retención, que debe variar entre décimas de segundo y siete segundos, dependiendo del mecanismo de coagulación predominante. También se ha visto en la teoría que existe un rango de gradiente de velocidad de 3.000 a 5.000, que adicionalmente optimiza el proceso. A su vez, cada tipo de unidad optimiza su comportamiento con un determinado rango de gradientes de velocidad, criterio que es necesario tener muy en cuenta en el ámbito de la operación (ver cuadro 2-5).

Cuadro 2-5. Variación del gradiente de velocidad de acuerdo con el tipo de mezclador (2)

Tipo de mezclador	$G s^{-1}$
Retromezcladores	500-1.000
Resalto hidráulico	700-1.200
Difusores	700-1.000
Mezcladores en línea	3.000-5.000

3.3.3 Operación de los mezcladores

a) Retromezcladores

Descripción

Están constituidos básicamente por una cámara y un agitador eléctrico capaz de producir un gradiente de velocidad de 100 a 1.000 s^{-1} . El sistema de



Figura 2-33. Mezclador mecánico (1)

aplicación de las sustancias químicas debe estar dirigido al agitador para que la homogeneización con la masa de agua sea instantánea (figuras 2-33 y 2-34).

Operación de puesta en marcha

- Verificar que la cámara esté llena hasta el nivel máximo de operación.
- Constatar que la dosificación se ha iniciado y la solución está ingresando a la cámara de mezcla.

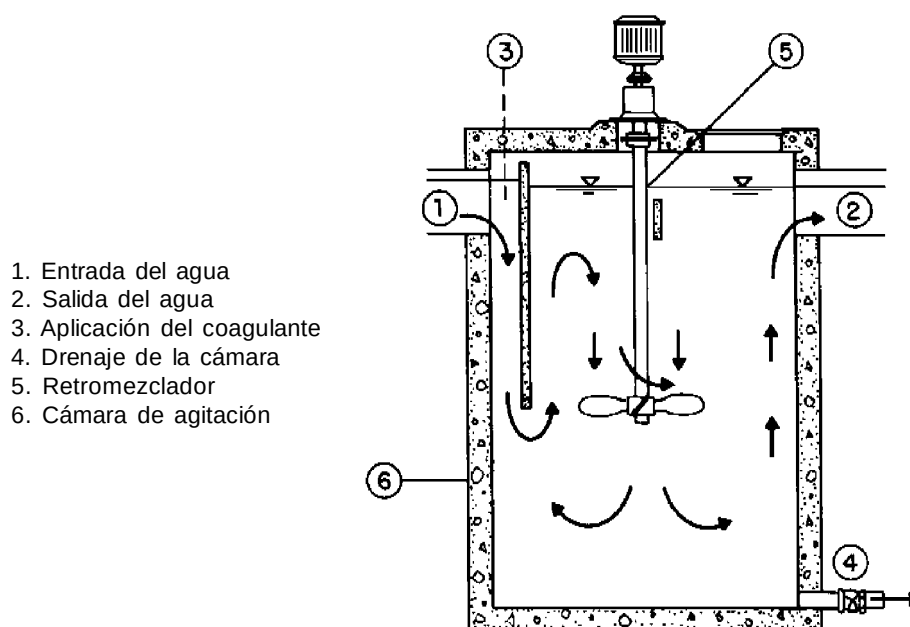


Figura 2-34. Retromezclador (2)

Operación normal

- Poner en funcionamiento el agitador.
- Comprobar el gradiente de velocidad producido por el agitador. Una forma práctica de obtener el gradiente de velocidad es midiendo el Hp demandado por el agitador, midiendo el voltaje y el desfase.

$$Kw = \sqrt{3 V I \cos \phi 10^3}$$

$$Hp = 1.341 kw; \quad G = \sqrt{P/\mu V}$$

Donde: V es el voltaje e I el amperaje.

Considerar $P = Hp/2$ por razones prácticas, para determinar las pérdidas por fricción en el cabezal y la inercia del agua.

Otro procedimiento consiste en determinar directamente la potencia derivada, o bien hacerlo indirectamente, conociendo la velocidad de giro (medida por medio de un tacómetro), así como las características geométricas del rotor y el reactor, con lo cual se puede calcular el gradiente real de velocidad por medio de la siguiente ecuación:

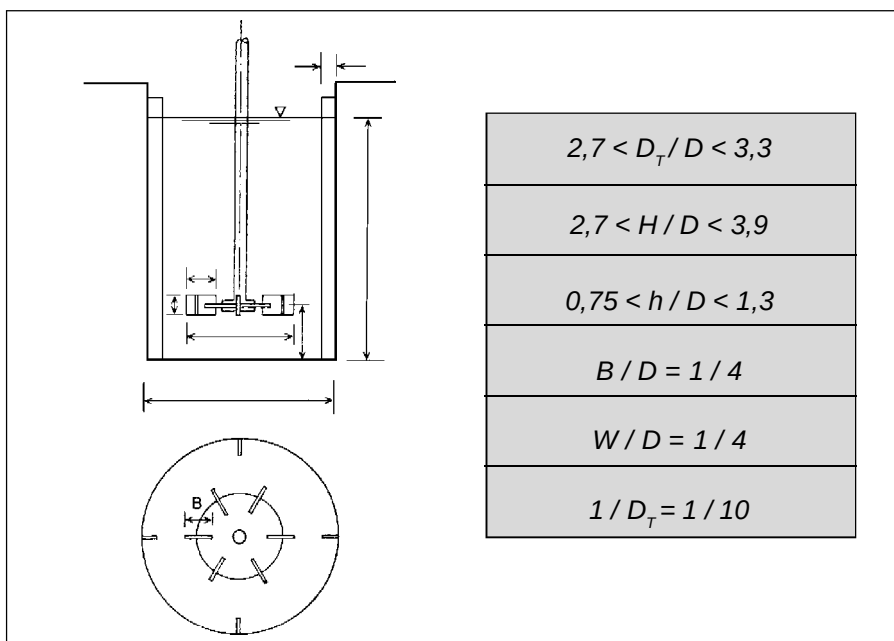
$$G = K \sqrt{\frac{N^3 \cdot A \cdot \sum R^3}{\mu \nabla}}$$

Parada del equipo

- Accionar el interruptor del motor a la posición de parada para dejar el equipo fuera de operación.
- Parar la aplicación del coagulante.
- Abrir la válvula de fondo y drenar la cámara de mezcla rápida.

El cuadro 2-6 presenta una serie de relaciones que deben cumplirse entre la cámara de mezcla y las dimensiones del agitador, para optimizar su comportamiento.

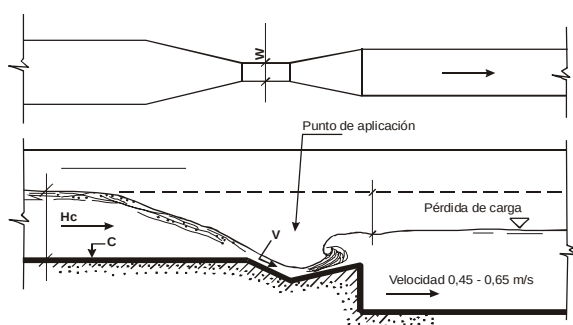
Cuadro 2-6. Relaciones entre la cámara y el agitador para optimizar el comportamiento del retromezclador (3)



b) Mezcladores hidráulicos

Descripción

En estas estructuras la mezcla rápida se produce cuando el flujo de un



líquido pasa de un régimen rápido a un régimen lento. Como consecuencia, se produce la agitación de la masa de agua y una apreciable pérdida de carga (figura 2-35).

Figura 2-35. Canaleta Parshall como mezclador rápido (2)

Puesta en marcha

- Abrir la compuerta o válvula de entrada.
- Comprobar si el resalto se ubica en la posición del punto de aplicación del coagulante. En caso contrario, reubicar la dosificación de manera que se distribuya de manera uniforme sobre el inicio del resalto.

Operación normal

- Comprobar el inicio de la dosificación observando la salida de la solución a todo lo largo de la canaleta o difusor de distribución ubicado a todo lo ancho del resalto.
- Constatar que la solución se esté aplicando de manera uniforme en el punto de máxima turbulencia.
- Verificar que la planta esté operando con el caudal de proyecto, condición para que se cumpla el gradiente de velocidad.
- Si el caudal de operación no es el de proyecto, comprobar el gradiente de velocidad por medio de la determinación de la pérdida de carga. Es recomendable tener dos reglas fijas y niveladas, de manera que los centros de ambas sean coincidentes y estén localizados en los puntos de medición, para facilitar la determinación de la pérdida de carga.
- Verificar que no se produzcan grandes turbulencias, ocasionadas por caídas o restricciones después del punto de aplicación de las sustancias químicas.

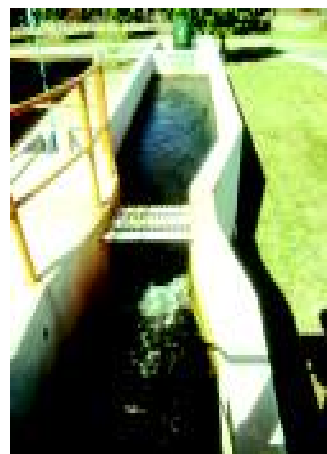


Figura 2-36. Mezclador del tipo canaleta Parshall (1)



Figura 2-37. Mezclador tipo rampa (1)

Parada del equipo

- Cerrar la estructura de entrada al mezclador.
- Suspender la dosificación.

3.4 Floculadores

La función de las unidades de floculación es ayudar al crecimiento del flóculo, mediante condiciones óptimas de velocidad y tiempo, para dar origen a un flóculo suficientemente grande y pesado que decante con facilidad.

3.4.1 Parámetros de operación

Los parámetros operacionales del proceso son gradiente de velocidad y tiempo de retención. El gradiente de velocidad es función de la potencia mecánica aplicada o de la energía hidráulica disipada. Normalmente varía en un rango de 70 a 20 s^{-1} y el tiempo de retención, entre 15 y 20 s^{-1} . Los parámetros con los que cada agua optimiza se definen en el laboratorio mediante simulación de los procesos (ver el capítulo 11 de *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría*).

3.4.2 Tipos de floculadores

Se clasifican atendiendo al tipo de energía mediante la cual se aplica el gradiente de velocidad a la masa de agua. Existen dos tipos de unidades: hidráulicas y mecánicas.

Floculadores hidráulicos

El gradiente de velocidad es aplicado por medio de la disipación de energía hidráulica, la cual se visualiza a través de la diferencia de niveles o pérdida de carga.

Estas unidades pueden ser de varios tipos.

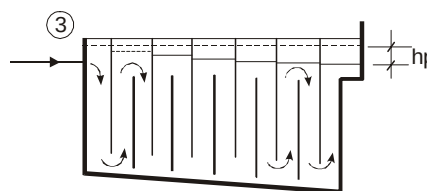


Figura 2-38. Floculador de pantallas de flujo vertical (2)

Las principales son:

- De pantallas de flujo horizontal y vertical;
- unidades tipo Cox o Alabama;
- unidades de medios porosos.

Operación de unidades hidráulicas

Descripción



Figura 2-39. Unidades de pantallas de flujo horizontal (1)

Estas unidades están compuestas por varios tramos (mínimo tres), con pantallas dispuestas de tal modo que la separación entre ellas se va ampliando de un tramo al otro, para obtener una distribución decreciente de gradientes de velocidad.

Otros tipos de unidades menos comunes están compuestas de varias cámaras con interconexiones (orificios o compuertas), convenientemente dispuestos para provocar flujos laminares controlados (ver figura 2-40).

Las unidades tipo Alabama o Cox y de flujo helicoidal son muy vulnerables a las variaciones de caudal y normalmente tienen muchos problemas hidráulicos. El funcionamiento de estas unidades prácticamente se anula cuando baja el caudal de operación de la planta.

Puesta en marcha

- Abrir completamente la compuerta de entrada de agua coagulada. No estrangular la compuerta para mantener el nivel en la unidad, porque se incrementa el gradiente de velocidad y estaremos malogrando el microflóculo.



Figura 2-40. Floculador de flujo helicoidal (1)

- Verificar que la dosificación y la mezcla rápida estén operando satisfactoriamente.
- Constatar que el nivel de agua en las cámaras o canales llegue a la altura de operación.

Operación normal

- Determinar el gradiente de velocidad en cada tramo del floculador mediante el procedimiento descrito en el capítulo 3 de *Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada*.
- Comparar el gradiente de velocidad con el óptimo obtenido en el laboratorio y ajustar si es necesario, reordenando las pantallas, o por medio de los dispositivos de regulación en las interconexiones.



Figura 2-41. Floculador hidráulico de flujo vertical (1)

Floculadores mecánicos

El gradiente de velocidad es originado por equipos mecánicos mediante agitadores de paletas, turbinas, etcétera. Dependiendo del sentido del eje, pueden ser de eje horizontal o vertical.

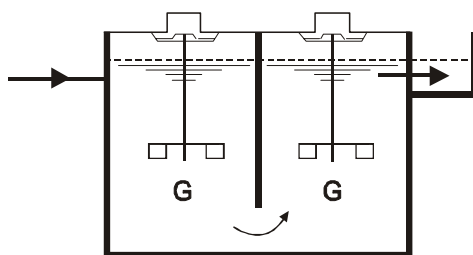


Figura 2-42. Floculador de eje vertical (2)

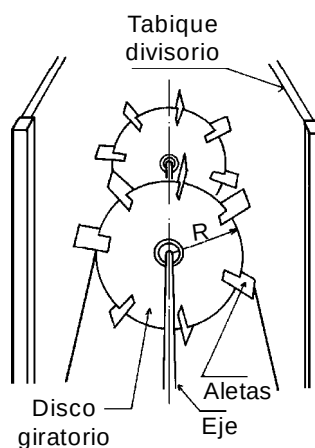


Figura 2-43. Floculador de eje horizontal (4)

Descripción

Compuesto por celdas o cámaras provistas de un sistema de agitación que giran con la velocidad suficiente para conseguir el gradiente de velocidad que optimiza su crecimiento y con relativa lentitud en tramo final para no romper los flóculos formados y a la vez impedir la sedimentación y formación de depósitos.

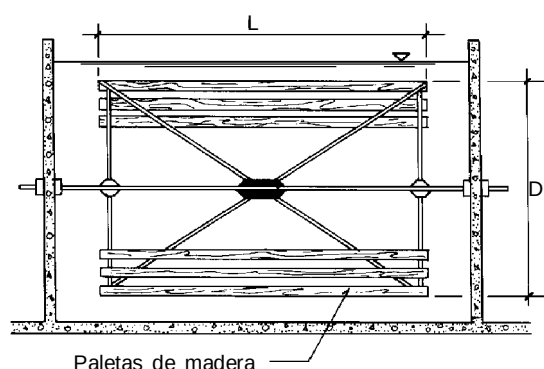


Figura 2-44. Agitador de eje horizontal (2)

El sistema de agitación utilizado puede estar constituido por hélices especiales o conjuntos de brazos con paletas fijas sobre un eje giratorio vertical u horizontal movido por un conjunto motorreductor que permita regular la velocidad de agitación en función de la calidad del agua.

El ingreso a la primera cámara debe efectuarse por la parte superior de la unidad y entre las cámaras debe haber pasos dispuestos alternadamente, arriba y abajo, para confinar bien el tiempo de retención y la salida por arriba para mantener el nivel en la unidad.

Puesta en marcha

- Abrir la compuerta de acceso para llenar la unidad.
- Comprobar que el nivel del agua cubra el sistema de agitación.
- Comprobar que la dosificación esté lista para entrar en operación.

Calibrar el selector de velocidades. El procedimiento que se debe seguir es el siguiente:



Figura 2-45. Floculador de eje horizontal (1)

- a) Colocar el selector de velocidades en la mínima graduación en la que se produce movimiento de los agitadores.
- b) Con un tacómetro, determinar la velocidad de giro (N) del eje. Si no se dispone de un tacómetro, se puede determinar la velocidad de giro mediante una varilla y un cronómetro. Teniendo en cuenta el número de brazos que tiene el agitador, se toma el tiempo en que la varilla topa los brazos el doble o el triple de veces el número de brazos. Por ejemplo, si el agitador tiene dos brazos, tomar el tiempo que demora en topar seis veces la paleta y, dividiendo el tiempo obtenido para tres, se obtendrá el tiempo que toma una vuelta completa.
- c) Tomar la temperatura del agua y determinar el valor de la viscosidad absoluta (μ).
- d) Con una cinta métrica tomar las dimensiones de las paletas —largo (l) y ancho (b)— para determinar el área (A) de las paletas, el radio de giro respecto del eje (R) y el volumen ($\forall$) de las cámaras.
- e) Con estos datos, determinar el gradiente de velocidad, mediante la siguiente ecuación:

$$G = K \sqrt{\frac{N^3 \cdot A \cdot \sum R^3}{\mu \cdot \forall}}$$

Donde K es un coeficiente que se puede considerar aproximadamente igual a 90 para agitadores de eje horizontal y 45 para agitadores de eje vertical.

- f) Avanzar una graduación en el selector de velocidades y determinar con el tacómetro esta nueva velocidad (N_o).
- g) Una vez conocidos N y G , se puede calcular el gradiente de velocidad (G_o) correspondiente al valor de N_o , mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{N}{N_o} = \left[\frac{G}{G_o} \right]^{2/3}$$

- h) Continuar con las determinaciones hasta llegar a la máxima graduación.
- i) Levantar el gráfico de velocidad de rotación (N) versus gradiente de velocidad (G) s-1.

Operación normal

- Poner en funcionamiento el equipo de mezcla lenta.
- Fijar la velocidad requerida para optimizar el proceso.
- Comprobar si el flóculo se está formando en el primer tercio de la unidad.
- Verificar el tamaño del flóculo obtenido.



Figura 2-46. Floculador de paletas de eje vertical (1)

Operación de parada

- Accionar el interruptor a la posición de parada.
- Cerrar la compuerta de entrada a la unidad.

3.5 Decantadores

Se entiende por decantación la sedimentación de partículas floculentas, formadas por la aglomeración de partículas discretas en suspensión, mediante la acción de una sustancia química con propiedades coagulantes.

3.5.1 Parámetros operacionales

- a) Calidad del agua decantada

Los microbios patógenos —incluidos los parásitos protozoarios, bacterias y virus— se pueden remover físicamente como partículas en los procesos de tratamiento tales como la coagulación, la floculación, la decantación y la filtración o desactivar mediante la desinfección.

La remoción de partículas mediante procesos de tratamiento de agua se puede monitorear y evaluar a través de diversos métodos, tales como el control de la turbiedad, el conteo de partículas y el análisis microscópico de partículas. Un número cada vez mayor de sistemas de tratamiento de agua superficial posee turbidímetros para monitorear la turbiedad principalmente en el efluente de los decantadores, filtros y reservorio de aguas claras (agua tratada).

La figura 2-47 muestra la función de los procesos como múltiples barreras para optimizar la protección contra los microbios patógenos en las plantas de tratamiento de agua y las metas asociadas de producción. A pesar de las variaciones de la fuente, las plantas deben producir de manera consistente agua tratada de alta calidad. En el caso de los decantadores, la producción optimizada exige una turbiedad máxima de menos de 2 UNT. Dicha meta asegura la integridad de esa barrera y proporciona una carga uniforme de partículas al proceso de filtración.

En la mayor parte de los países de América Latina, las normas permiten hasta 5 UNT en el agua filtrada y se plantea que con producir agua decantada con hasta 10 UNT se puede alcanzar esta meta. Esto da lugar a que aun cuando los sistemas incluyen unidades de alta eficiencia, se esté operando con mucha complacencia, pensando que no es necesario esforzarse en producir agua con una turbiedad menor de lo que exigen las normas nacionales (generalmente 5 UNT). Sin embargo, si no alcanzamos las metas recomendadas por la EPA —sobre todo en las zonas de climas tropicales, donde la parasitosis es endémica—, no podemos garantizar que el agua tratada esté exenta de huevos de parásitos. Debemos proponernos metas cada vez más ambiciosas, impuestas por nuestra conciencia, para proteger la salud de los usuarios del sistema.

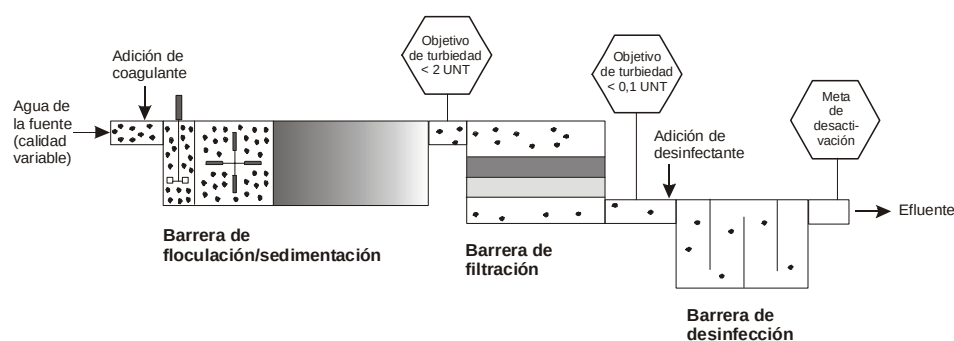


Figura 2-47. Estrategia de múltiples barreras para la protección contra microbios (5)

b) Carga superficial ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$).

Este parámetro depende de la eficiencia de cada tipo de decantador y se basa en la velocidad crítica de sedimentación determinada para cada agua en el laboratorio a nivel de proyecto, seleccionando el valor con el cual se pueda alcanzar la meta optimizada. Ver *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría*, tomo II, capítulo 11.

A nivel de operación, debemos controlar que se mantenga constante el caudal de proyecto para que la tasa de decantación no varíe.

3.5.2 Tipos de unidades

Los decantadores se clasifican, según el tipo de flujo, en:

Decantadores estáticos. De flujo horizontal, de flujo radial.

Decantadores dinámicos o de manto de lodos. Este tipo de unidades se tratan en el capítulo 3 de este manual, dado que este tipo de unidades son características de estos sistemas.

Decantadores laminares. Son unidades poco profundas, con una zona de decantación formada por una serie de módulos tubulares de sección circular, cuadrada, octogonal o hexagonal, o secciones de láminas paralelas, ya sean planas u onduladas, entre las cuales circula el agua con flujo laminar. Se clasifican de la siguiente forma:

a) Según el tipo de módulo. Pueden ser:

- Tubulares: cuadrados, circulares, rectangulares, etcétera.
- De placas: planos y corrugados.
- Otros: soluciones patentadas.

b) Según la dirección del flujo. Pueden ser:

- Horizontales.
- Inclinaos: ascendente y descendente.

c) Según los procesos unitarios:

- Estáticos.
- Dinámicos.

3.5.3 Operación de decantadores

Decantador estático de flujo horizontal

Descripción

La forma de estos decantadores normalmente es rectangular (figura 2-48), aunque también los hay circulares y cuadrados (figura 2-49). Disponen normalmente de una zona de entrada por medio de una pantalla o cortina perforada, una zona de salida por medio de canaletas colectoras, una zona de depósito de lodos con fondo inclinado y una zona de decantación que tiene una profundidad de 2 a 4 metros.



Figura 2-48. Decantador estático de flujo horizontal (1)

Puesta en marcha

- Cerrar la válvula de desagüe.
- Abrir la compuerta de entrada y dar inicio al llenado de la unidad.
- Una vez llena la unidad, cerrar la entrada y dejar en reposo por 15 minutos.
- Abrir la compuerta de entrada.

Operación normal

- Determinar la turbiedad y/o color del agua decantada por lo menos cada cuatro horas. En el caso de plantas grandes, cada hora.
- Comprobar si los flóculos son arrastrados hacia la salida. Una estructura de salida muy corta, que esté produciendo una velocidad de recolección mayor de 2 L/s.m, puede anular la eficiencia de la unidad.



Figura 2-49. Decantador estático de forma circular (1)

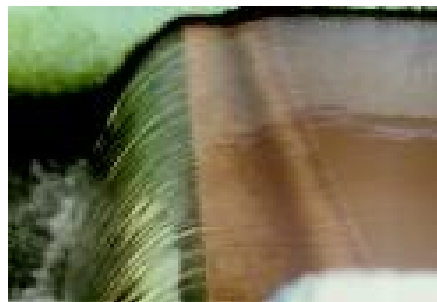


Figura 2-50. Estructura de salida del decantador estático (1)

- La figura 2-50 muestra esta situación y la figura 2-51 un comportamiento adecuado, sin arrastre de flóculos.
- Retirar el material flotante con una espumadera.
- Comprobar si hay desprendimiento de burbujas de aire por fermentación de lodos. En zonas tropicales la alta temperatura puede acelerar este proceso y esta situación es señal de que es necesario drenar los lodos de la unidad.
- Verificar semanalmente si existe crecimiento de algas.
- Medir el nivel de lodo depositado en la tolva con el equipo adecuado (ver figura 2-3).
- Cuando se compruebe que los lodos llegaron al nivel máximo de la tolva o cuando se visualice desprendimiento de burbujas de aire (aunque la tolva no esté llena), drenar la unidad y realizar la limpieza de los lodos depositados.



Figura 2-51. Estructura de recolección adecuada (1)

Operación de parada de la unidad

- Cerrar la compuerta de entrada.
- Reducir el caudal de entrada a la planta en la parte correspondiente a la unidad que se está sacando de servicio.

- Si la parada no es para efectuar la limpieza de la unidad, mantener un residual de 5 ppm de cloro residual o drenar los lodos para evitar la fermentación.

Decantadores laminares de flujo ascendente

Descripción

Estas unidades deben tener una estructura de entrada que distribuya uniformemente el caudal a lo largo de toda la zona de decantación, una zona de decantación compuesta por módulos de placas o tubulares, una estructura de salida del agua decantada, la zona de depósito de lodos y el sistema de extracción de lodos (ver figura 2-52).

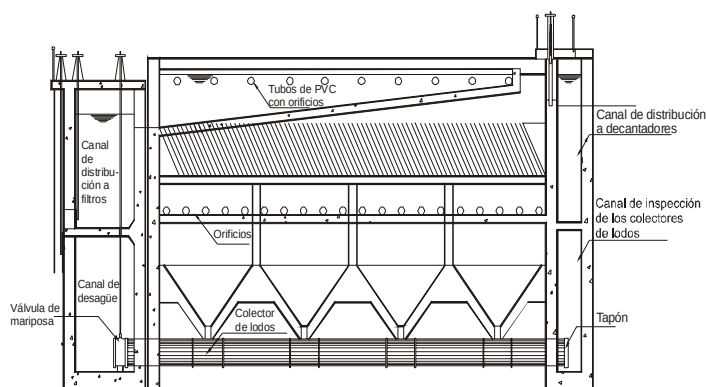


Figura 2-52. Decantador de placas paralelas de flujo ascendente (1)

La zona o estructura de entrada debe estar compuesta por canales o tuberías concebidos con criterios de distribución uniforme. Normalmente las unidades muy antiguas no tienen esta estructura, pero algunas han sido calculadas con tasas de decantación tan bajas (sobredimensionadas) que compensan este defecto.



Figura 2-53. Módulo de decantación de placas paralelas (1)

La zona de decantación puede estar conformada por módulos de placas planas u onduladas (figura 2-53) o por módulos de sección tubular cuadrada, hexagonal u octogonal (figura 2-54).

La zona de recolección de agua decantada está constituida por canaletas o tuberías perforadas, repartidas de manera uniforme en toda el área de la unidad.

Esta es una característica muy importante, y es causa del deterioro del efluente cuando la unidad no ha sido concebida de esta manera (ver figuras 2-53 y 2-54).

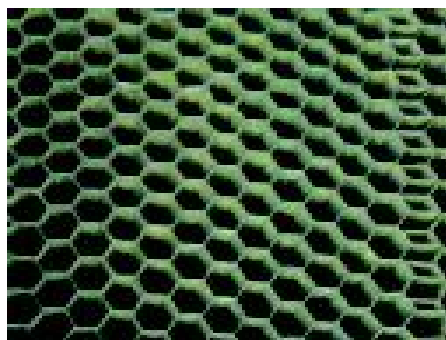


Figura 2-54. Módulo de decantación de sección hexagonal (1)

La zona de depósito de lodos puede estar conformada por tolvas múltiples (figura 2-52) y tolvas corridas como en la figura 2-55.

Las tolvas de este tipo de unidades tienen muy poca profundidad, no se proyectan para almacenar el lodo por largo tiempo; como máximo, uno o dos días de la época de creciente, por lo que es muy importante que la unidad tenga un sistema automático de extracción de lodos.

Al decir automático no nos estamos refiriendo precisamente a un automatismo mecánico. Puede tratarse de un sistema hidráulico como el que presentan los decantadores de las figuras 2-52 y 2-55, siendo el de operación más eficiente y confiable el primero.

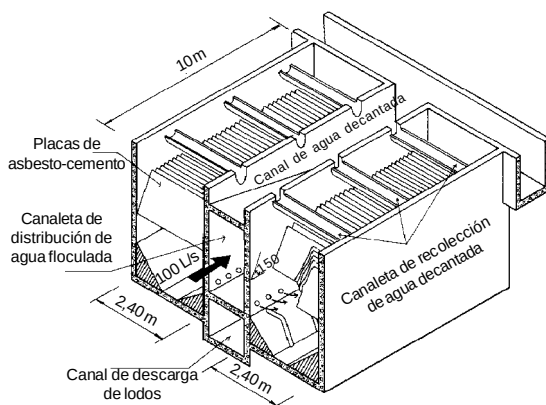


Figura 2-55. Decantador de placas con tolvas corridas (6)

Si la unidad no tiene un sistema eficiente de extracción de lodos, el decantador tendrá que sacarse continuamente de operación para efectuar la limpieza en forma manual, con las siguientes desventajas y problemas:

- Condiciones inhumanas de trabajo para el personal, que debe entrar por debajo de las placas para sacar el lodo con palas y azadones.
- El movimiento de los trabajadores con sus herramientas por debajo de los módulos de decantación contribuye a debilitar el sistema de sostén de las placas. Son muchos los casos en que por esta causa, las placas han terminado desplomándose.
- La unidad en limpieza, al salir de operación, crea una sobrecarga en la tasa de decantación de las otras unidades y el efecto de esto en la calidad del agua decantada producida es mayor mientras más tiempo permanezca fuera de servicio la unidad, sobre todo en época de lluvias.

Operación de puesta en marcha

- Cerrar la válvula de desagüe.
- Ajustar el medidor con el caudal de proyecto.
- Abrir la compuerta de entrada.
- Llenar la unidad hasta el nivel máximo de operación.
- Suspender durante 15 minutos la operación de llenado para que la unidad adquiera condiciones de reposo.

Operación normal

- Abrir la compuerta de entrada.
- Determinar la turbiedad del efluente por lo menos cada cuatro horas.



Figura 2-56. Modelo de condiciones óptimas de operación (1)

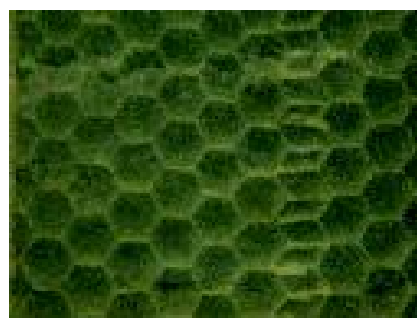


Figura 2-57. Problemas de diseño y operación (1)

- Comprobar que la capa de agua sobre las placas es tan clara que las placas se puedan contar (ver figura 2-56).

Cuando el agua está turbia, o los flóculos aparecen sobre las placas, verificar la dosificación, el caudal de operación y/o las características de la estructura de entrada.

La figura 2-57 muestra el caso de un decantador en el que no se estaba aplicando la dosis óptima y, además, no tenía una buena estructura de entrada.

En la unidad de la figura 2-58 se encontraron problemas de operación y diseño en la dosificación y en la estructura de entrada. El agua floculada entraba toda por el inicio de la unidad y en un nivel muy bajo, levantando los lodos de la tolva.

- En la época de lluvias más intensas, cuando la operación es más crítica, drenar la unidad cada 4 horas y espaciar a 1 ó 2 días en época de seca:

Procedimiento:

- a) Cerrar la compuerta de entrada.
- b) Abrir el drenaje hasta que el nivel en la unidad baje 30 cm.
- c) Cerrar la válvula de drenaje.
- d) Abrir la compuerta de entrada.



Figura 2-58. Baja eficiencia como consecuencia de problemas de diseño y operación (1)



Figura 2-59. Problema de operación (1)

En la unidad de la figura 2-57, a pesar de tener un sistema hidráulico de extracción de lodos, el operador esperaba a que el lodo apareciera sobre las placas para drenarlos.

En estas condiciones el sedimento que rellenaba los espacios entre las placas era arrastrado hacia la salida y la eficiencia de la unidad era muy baja.

Operación de parada del decantador

- Cerrar la compuerta de entrada.
- Si la parada excede las 24 horas, aplicar 5 ppm de cloro residual o drenar los lodos de la unidad.

3.5.4 Dispositivos de barrido de lodos

Según la cantidad de material en suspensión en el agua cruda, el volumen de lodos por evacuar y la pendiente del fondo de la unidad, los decantadores de tipo estático pueden equiparse con sistemas de barrido o rascado de lodos que permiten su extracción a medida que se van produciendo.

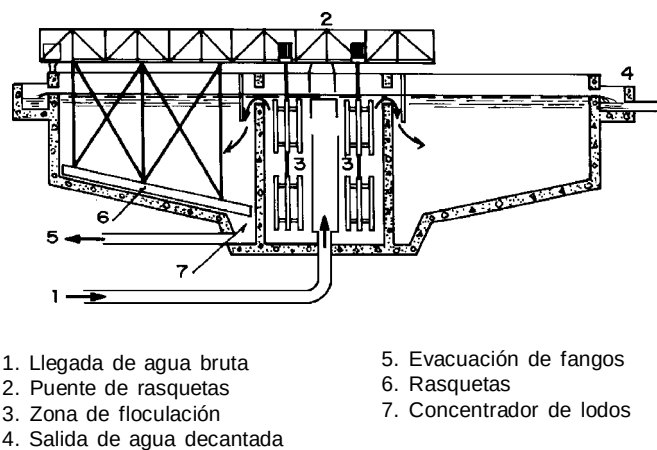


Figura 2-60. Barrelos para unidades circulares (2)

Este tipo de sistema es especialmente importante en plantas muy grandes en las que la fuente presenta mucho arrastre en época de lluvias.

a) *Tipos*

Los hay para decantadores circulares y rectangulares.

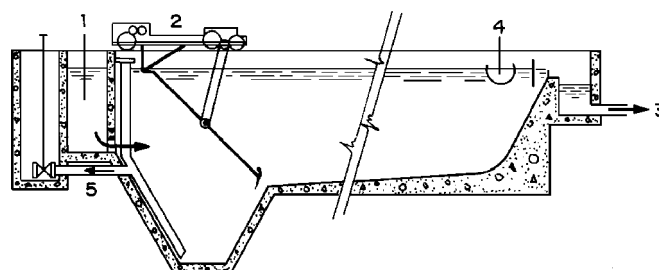
b) *Descripción*

Sistema de barrido para unidades circulares

En este tipo de unidades el sistema de barrido va sujeto a una estructura que gira alrededor del eje de la unidad (ver figura 2-60).

Un grupo motorreductor montado sobre el puente acciona una rueda motriz que se desplaza sobre el muro de coronación del decantador.

El sistema de barrido esta rígidamente fijo a la pasarela giratoria de la superficie. Los fangos son barridos hacia una fosa central, donde se concentran para ser evacuados por un sistema de extracción.



- | | |
|---------------------------|--------------------------|
| 1. Licuado de agua bruta | 4. Recogida de flotantes |
| 2. Puente de rasquetas | 5. Evacuación de fangos |
| 3. Salida de agua tratada | |

Figura 2-61. Barrelos de rasquetas para unidades rectangulares (2)

Sistema de barrido para decantadores longitudinales rectangulares

Este sistema de barrido puede ser accionado por un puente que abarque todo el ancho de la unidad y que se desplace de un extremo a otro del decantador o mediante cadenas sin fin sumergidas (figuras 2-61 y 2-62).

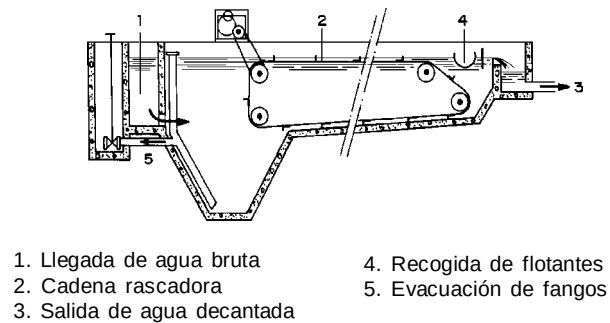


Figura 2-62. Sistema barrelodos de cadenas (2)

Las fosas de lodos están situadas justamente debajo de la llegada de agua cruda. El rascador de fondo desplaza los lodos en sentido contrario a la circulación del agua. La marcha del puente se efectúa en forma automática o manual.

c) Puesta en marcha

- Accionar el botón de arranque.

d) Operación normal

- Observar que la marcha del puente barrelodos sea continua y uniforme.
- Espaciar el intervalo entre desplazamientos del sistema barrelodos en época de seca, en que no hay gran formación de lodos.

e) Operación de parada

- Esperar a que el sistema llegue a su posición inicial.
- Accionar el botón de arranque para sacar de servicio al sistema.

3.5.5 Dispositivos para la extracción de lodos

En los casos en que se está empleando un sistema mecanizado de barrido, los lodos obtenidos en el tratamiento se concentran en fosas, desde donde son extraídos mediante un dispositivo de purga continua o en forma intermitente. La frecuencia y duración de las purgas puede regularse mediante dispositivos automáticos.

Los dispositivos para la extracción de los lodos pueden ser válvulas automáticas, sifones o bombas.

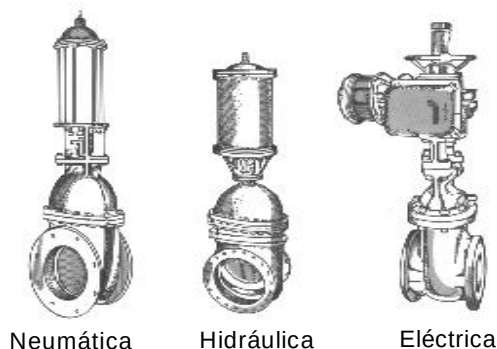


Figura 2-63. Diferentes tipos de válvulas automáticas (2)

Válvulas automáticas

Generalmente son válvulas de membrana o de manguito, cuyo cierre se consigue aplicando una presión de aire o agua al exterior de la membrana o del manguito y su apertura es accionada por una electroválvula (ver figura 2-63).

Sifones

Son tuberías en U invertidas, usadas para la extracción de lodos de los decantadores. Los sifones pueden cebarse por medio de vacío introducido por su punto más alto y se desceban colocando a la atmósfera la tubería o por medio de una diferencia de carga hidráulica (ver figura 2-64).

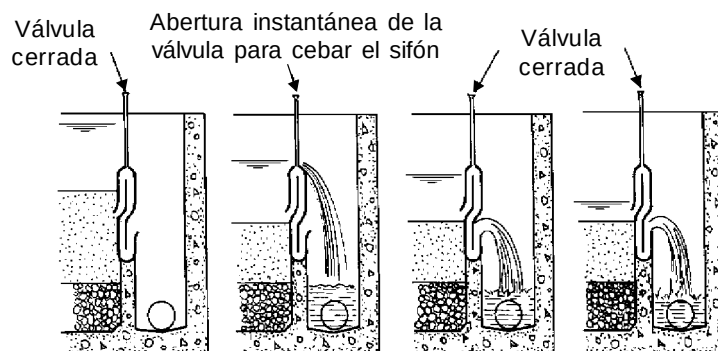


Figura 2-64. Sifón empleado en el lavado superficial (2)

Bombas

Cuando los lodos por extraer están fuertemente concentrados, esta operación se realiza por medio de bombas, que succionan el lodo de las fosas de fango. Estas pueden ser accionadas manual o automáticamente.

3.6 Filtros

La filtración es el proceso de tratamiento final de las unidades relacionadas con la remoción física de partículas, entre las cuales las de mayor importancia sanitaria son los microorganismos patógenos. Por este motivo, es esencial que los filtros presenten altos niveles de eficiencia en forma constante y permanente. La función de estas unidades es de pulimento, para lo cual no deben recibir un agua decantada con más de 2 UNT.

Los filtros se evalúan básicamente a partir de su capacidad para lograr una calidad de agua tratada menor o igual a 0,10 UNT el 95% del tiempo, excluyendo el periodo de 15 minutos posterior al retrolavado, basado en los máximos valores registrados a través de controles cada 4 horas. Se puede aceptar que la turbiedad ascienda a 0,30 UNT después del retrolavado, para recuperarse a menos de 0,10 UNT en 15 minutos.

3.6.1 Tipos de unidades de filtración rápida

Se clasifican en dos grandes grupos: los filtros rápidos por gravedad y los filtros a presión.

Los filtros rápidos por gravedad, a su vez, pueden operarse con tasa constante o con tasa variable o declinante.

3.6.2 Operación de unidades de filtración rápida

En este tipo de filtros el caudal total afluente es repartido equitativamente entre todas las unidades. Normalmente, el nivel del agua en cada filtro es variable entre una altura mínima, cuando el filtro entra en servicio, y un nivel máximo, cuando el filtro deberá ser retrolavado. Las instalaciones de este tipo están compuestas de una galería de tubos para vehicular el agua filtrada, de lavado y desagüe, además de una galería de operación donde normalmente se operan las válvulas manualmente mediante pedestales y manivelas y las cajas de los filtros.

Parámetros operacionales

Para sentar buenas bases de operación para estas unidades, es necesario comenzar por una evaluación completa de los filtros (ver *Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada*, de esta misma serie).

- Velocidad de filtración

Este parámetro es función de la calidad del agua y del tipo de lecho filtrante, por lo que durante la operación debe permanecer constante para que la eficiencia se mantenga.

Se controla a través del caudal, por lo que será suficiente con verificar que el caudal de entrada no varíe para que este parámetro se mantenga dentro de los límites previstos.

- Pérdida de carga

Al paso del agua decantada por el medio poroso, se produce una pérdida de carga hidráulica. La pérdida de carga máxima admisible depende de cada instalación y normalmente es igual a:

$$H_f \text{ máx.} = h - h_1$$

Donde:

h es el nivel del agua dentro de la caja del filtro, y

h_1 es el nivel del agua a la salida del filtro.

La determinación de este parámetro se puede efectuar mediante piezómetros instalados uno debajo del drenaje y el otro inmediatamente encima del lecho filtrante.

- Calidad del agua

Este es el parámetro de control más importante y el que limita la duración de la carrera. Hemos visto anteriormente que la meta de calidad de agua del filtro debe ser obtener un efluente con menos de 0,10 UNT para garantizar un efluente exento de huevos de parásitos.

Para determinar la duración de la carrera teniendo en cuenta metas microbiológicas, utilizando toda la capacidad instalada, se debe implementar un sistema de control sobre la base del número de Mintz (Nm).

El número de Mintz es la relación entre el tiempo en que el filtro llega a una calidad límite (T_1) y el tiempo en que llega a una pérdida de carga límite (T_2).

$$Nm = T_1/T_2 = 1$$

Esta forma de control puede implementarse midiendo turbiedad de agua filtrada y pérdida de carga en cada filtro por lo menos cada hora. Ver el capítulo 3 de *Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada*.

- Expansión del medio filtrante

Depende de la relación entre la velocidad de lavado y el tamaño de la arena. Este parámetro está relacionado con la eficiencia de la operación de retrolavado. La expansión varía de acuerdo con el tipo de lavado disponible en la instalación:

- Solo retrolavado con agua: 25 a 30% de expansión.
- Lavado con aire y agua = 10% de expansión.

$$\%E = Ah/h_1$$

Donde:

Ah = incremento de altura del medio filtrante durante el lavado.
 h_1 = altura de lecho filtrante estático.

Una deficiente expansión del medio filtrante conduce a un gradual deterioro del filtro. Ver procedimiento para la medición de la expansión en el capítulo 3 de *Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada*.

Filtros rápidos por gravedad de tasa constante

Nos referiremos a la operación de los filtros rápidos de tasa constante sin equipamiento mecánico, que son la mayoría de los sistemas existentes en nuestros

países, y también es la situación de los sistemas de patente cuando todo el equipamiento se malogra. Es común encontrar plantas de filtración rápida que están operando con todos los equipos malogrados y no se mantiene una capa de agua sobre el medio filtrante. El agua simplemente se escurre en forma puntual dentro de la arena (figura 2-65).



Figura 2-65. Filtro rápido por gravedad de tasa constante (1)

a) Descripción

En estas unidades el agua decantada llega a la caja del filtro mediante canales o tuberías y se vierte dentro de la caja del filtro, lo que obliga a la unidad a tomar un caudal constante (ver figura 2-66).

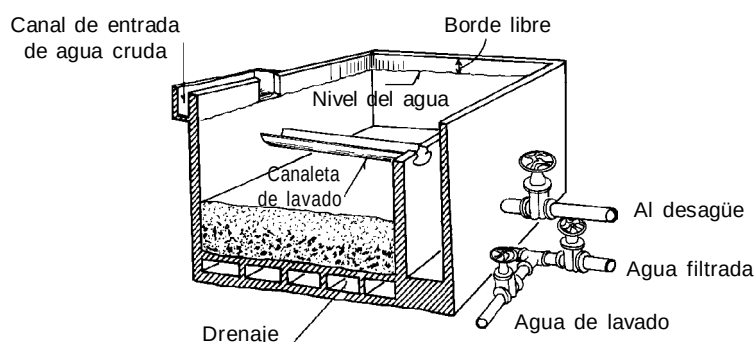


Figura 2-66. Características de los filtros por gravedad de tasa constante (2)

El efluente es colectado por medio de canales o tubos que lo conducen a la tubería de salida hacia el tanque de aguas claras.

Los componentes más importantes de estas unidades son:

- Sistema de entrada de agua decantada

Canal que une los decantadores con las unidades de filtración y distribuye el agua decantada a cada filtro, mediante compuertas accionadas en forma manual, hidráulica o neumática, ubicadas a la entrada de cada filtro.

- Medio filtrante

En este tipo de filtros son comunes las siguientes especificaciones para lechos filtrantes:

Cuadro 2-7. Lecho filtrante simple de arena sola (3)

Características	Símbolo	Criterio
Espesor (cm) L_1	60–80	
Tamaño efectivo (mm)	D_{10}	0,50–0,80
Coefficiente de uniformidad	CU	< 1,5
Tamaño más fino (mm)	$D_{<10}$	0,42
Tamaño más grueso (mm)	D_{90}	2,0

Cuadro 2-8. Lecho filtrante doble de arena y antracita (3)

Características	Símbolo	Arena	Antracita
Espesor (cm)	L1	15–30	45–60
Tamaño efectivo (mm)	D10	0,50–0,60	0,80–1,10
Coefficiente de uniformidad	CU	< 1,5	< 1,5
Tamaño más fino (mm)		0,42	0,59
Tamaño más grueso (mm)	D90	1,41	2,0

- Caja del filtro

Las cajas del filtro normalmente son de sección cuadrangular y de concreto armado, aunque en instalaciones pequeñas pueden ser de sección circular y de metal o fibra de vidrio.

- Sistema de salida del agua filtrada

Funciona mediante tubería que recolecta el agua filtrada directamente del falso fondo del filtro. Sobre esta tubería se coloca una toma de incorpora-



Figura 2-67. Galería de tubos de filtros rápidos por gravedad (2)

ción para obtener muestras del agua filtrada. En ella también se instala el piezómetro para medir la pérdida de carga (ver figuras 2-67 y 2-68).

- Sistema de drenaje

Existe una gran variedad de tipos de drenajes, la mayoría de ellos de patente, como los de boquillas, los fondos Leopold, los fondos Wheeler, etcétera.

- Sistema de lavado del filtro

- a) Lavado superficial

Generalmente, los sistemas de lavado superficial están conformados por aspas mecánicas, movidas por la presión del agua, la cual sale por boquillas colocadas convenientemente para provocar el giro de las aspas.

- b) Retrolavado

Se efectúa invirtiendo la dirección del flujo que ingresa al lecho filtrante y tiene como objetivo la eliminación de partículas retenidas en el lecho filtrante durante la carrera del filtro.

- Sistema de control

En estos casos, el sistema de control de los filtros debe hacerse en forma manual, accionando directamente las manivelas de las válvulas o compuertas.

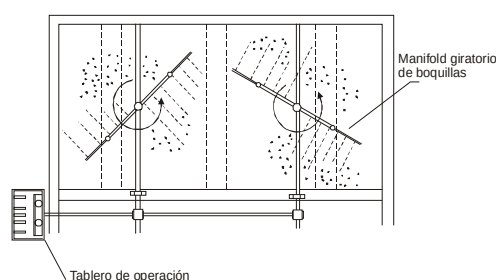


Figura 2-68. Sistema de lavado superficial (2)

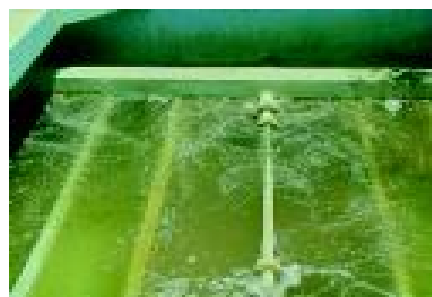


Figura 2-69. Lavado superficial en operación (1)

c) Puesta en marcha

- Comprobar que las válvulas o compuertas de entrada-salida y drenaje del filtro estén cerradas para evitar la salida del agua.
- Abrir lentamente la válvula de agua de lavado y llenar la unidad en forma ascendente hasta que el agua alcance una altura de 80 centímetros sobre el medio filtrante.



Figura 2-70. Mala operación de llenado (1)

- Cerrar la válvula de lavado y esperar el tiempo necesario para que todo el aire retenido en el lecho filtrante sea desalojado.

d) Operación normal

- Abrir lentamente la válvula de entrada de agua decantada, para evitar turbulencias y agitación de la arena durante el llenado del filtro (figura 2-68).

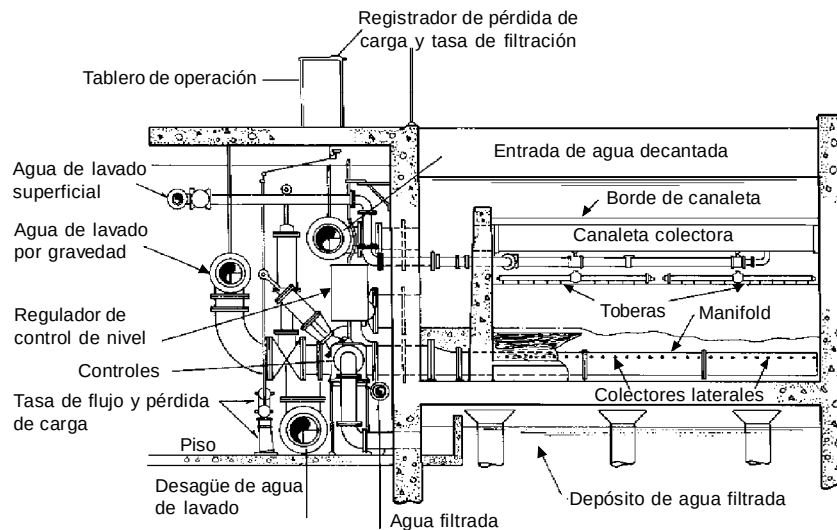


Figura 2-71. Características del filtro rápido por gravedad de tasa constante (2)

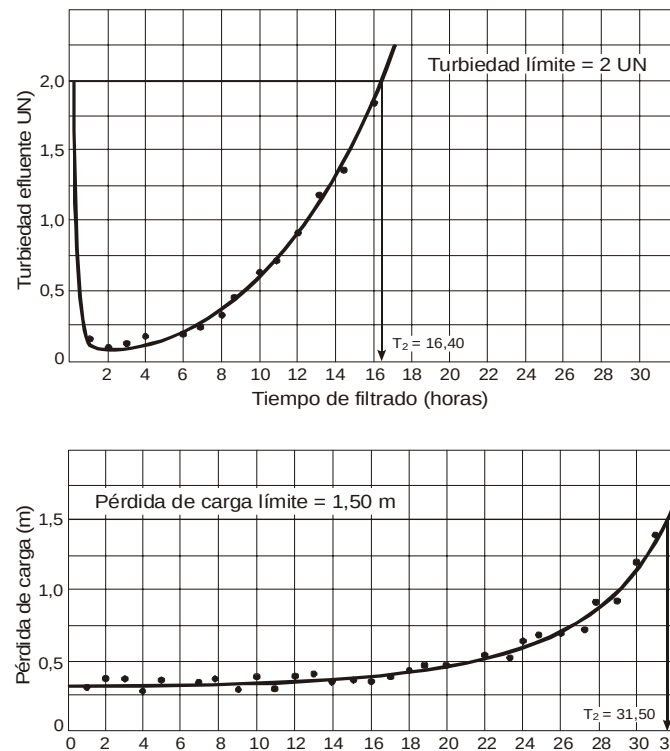


Figura 2-72. Determinación del número de Mintz (7)

- Restringir la válvula de salida de agua filtrada para que el nivel del agua en la caja del filtro se mantenga por encima del medio filtrante, e irla abriendo lentamente para ir manteniendo el nivel, a medida que progresa la carrera.
- Determinar pérdida de carga y turbiedad a lo largo de la carrera y graficar la información obtenida para determinar el momento en que debe lavarse el filtro (figura 2-71). Ver el capítulo 4 de *Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada*.
- Cuando el nivel del agua esté coincidiendo con el nivel máximo de la unidad y la válvula esté totalmente abierta, se habrá consumido toda la carga disponible en la instalación y será el momento de lavar el filtro. Sin embargo, si la calidad de agua límite se alcanzara antes, deberá lavarse el filtro aunque no se haya consumido toda la carga hidráulica disponible.

e) Operación de lavado

Lavado por gravedad

- Comprobar que haya suficiente agua en el tanque de lavado antes de iniciar esta operación.
- Registrar en el formato la hora de inicio de esta operación.
- Cerrar la válvula de entrada de agua al filtro.
- Cerrar la válvula de salida de agua filtrada, cuando el nivel del agua en la caja del filtro esté a 0,20 metros sobre el medio filtrante.



Figura 2-73. Filtro rápido por gravedad durante el lavado (1)

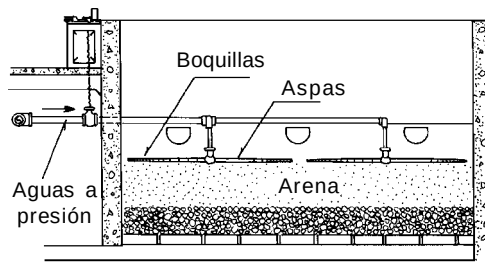


Figura 2-74. Sistema de lavado superficial (2)

- Poner a funcionar el sistema de lavado superficial, accionando la válvula reguladora del sistema y luego arrancar las bombas (figura 2-74).
- Abrir la válvula o compuerta de desagüe.
- Después de operar durante un minuto el lavado superficial, parar las bombas y cerrar la válvula reguladora.
- Abrir la válvula de control de ingreso de agua de lavado al filtro, accionando la palanca correspondiente a posición de lavado. En el caso de no haber tanque elevado, arrancar las bombas de lavado.
- Observar el proceso de lavado para identificar si se presentan condiciones anormales como áreas con lavado deficiente, excesiva turbulencia en otras zonas, pérdida de material filtrante, etcétera (figura 2-75).
- Por lo menos una vez al mes medir la expansión del medio filtrante y altura del lecho.

- En este tipo de filtros es usual encontrar una desigual distribución de expansión, normalmente muy alta en el extremo opuesto al ingreso del agua al filtro y muy baja en la parte inmediata a la entrada.

Este problema es ocasionado por una desigual distribución del agua de lavado, originada por defectos en el proyecto original. Esta desigual distribución del agua de lavado trae las siguientes consecuencias: roturas (boquillas) o desacomodo (fondos Wheeler) del drenaje, pérdidas del medio filtrante, lavado deficiente y formación de bolas de lodo y deterioro de la calidad del agua filtrada.



Figura 2-75. Pérdida de arena por exagerada expansión (1)

- Cada seis meses sacar una muestra del medio filtrante y mandar hacer un análisis granulométrico. La comparación de estos resultados con los de pruebas anteriores permite diagnosticar el estado del medio filtrante. Si el tamaño efectivo del material filtrante ha aumentado, significa que se está perdiendo arena fina y esto se verá corroborado por las mediciones del espesor del medio filtrante. También es posible encontrar que el tamaño efectivo aumentó y no se ha perdido arena. Esta situación es consecuencia de que el material se está “confitando”, debido a la adherencia de una capa de mugre o hierro, como consecuencia de un defectuoso proceso de lavado (figura 2-76).
- Inspecciones frecuentes del medio filtrante nos pondrán sobre aviso de los problemas en su inicio y se podrán solucionar antes de que el lecho filtrante se haya perdido en forma apreciable, o compactado, perdiendo porosidad y agrietándose, por efecto de una operación de lavado muy pobre, sin suficiente expansión del material (figura 2-78).
- La duración de esta operación deberá haberse determinado según procedimiento descrito en el capítulo 3 de *Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada*. Esta determinación debe efectuarse en la época de lluvias y en la época de seca, debido a que el tiempo de lavado requerido varía de una época a otra.

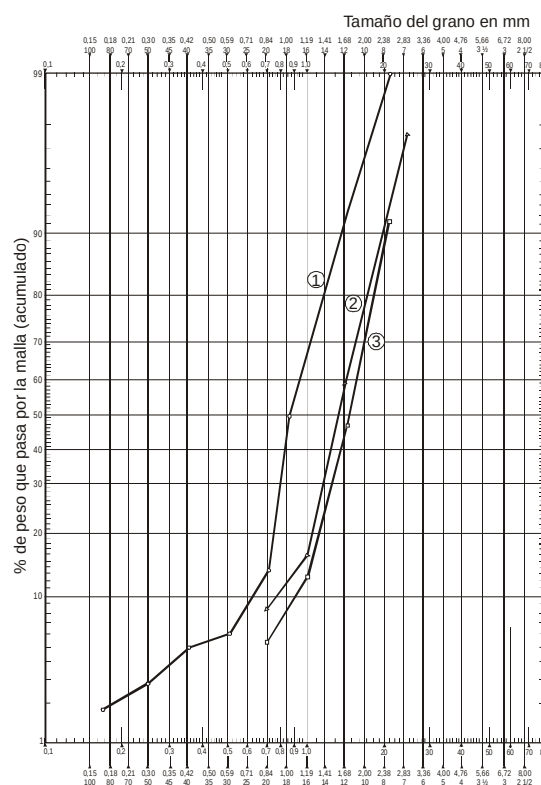


Figura 2-76. Análisis granulométrico del medio filtrante (7)

- Concluir el lavado de acuerdo con el tiempo predeterminado, dejando una capa de agua sobre el medio filtrante.



Figura 2-77. Lecho filtrado colmatado por algas (1)

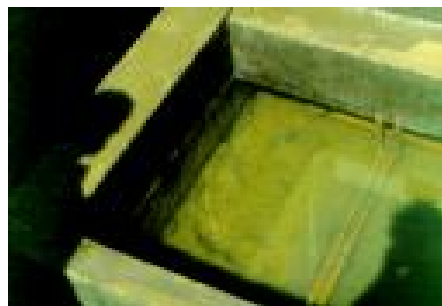


Figura 2-78. Lecho filtrante en mal estado (1)

- Parar las bombas o cerrar la válvula de salida del tanque elevado.
 - Anotar en el formulario de control el tiempo de lavado.
 - Efectuar mensualmente una prueba de calidad del filtrado inicial, para confirmar el tiempo durante el cual debe eliminarse al desagüe la primera agua producida por el filtro recién lavado.
- f) Parada del filtro
- Cerrar lentamente la válvula o compuerta de entrada.
 - Cerrar la válvula de salida del efluente.

Baterías de filtros rápidos por gravedad de tasa declinante y lavado mutuo

Las baterías de filtros de tasa declinante y lavado mutuo son consideradas tecnología apropiada debido a que reúnen las siguientes ventajas sobre otros sistemas de filtración en uso:

- No requieren una carga hidráulica muy grande para operar, una batería de filtros operando con tasa declinante. Precisan de una carga similar a la que requerirían si estuvieran operando con tasa constante, dividida por el número de filtros que componen la batería.
- No tienen galería de tubos. El transporte del agua decantada, filtrada, agua para retrolavado de los filtros y desagüe de agua de lavado se efectúan mediante canales.
- Normalmente el agua filtrada también se traslada mediante canales, uno de aislamiento y otro que interconecta la salida de todas las unidades. Estos canales se encuentran inmediatamente después de las cajas de los filtros.
- A través del canal de interconexión y debido a un es-

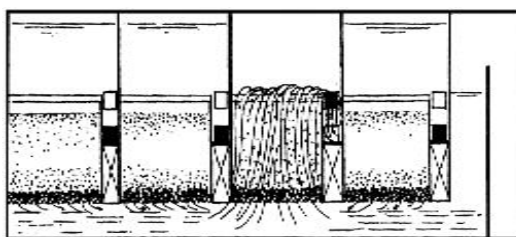


Figura 2-79. Batería de filtros autolavable (3)

pecial diseño hidráulico del sistema, el agua producida por lo menos por tres filtros retrolava a una unidad, por lo que no se requieren tanque elevado ni bombas.

- Debido al especial diseño hidráulico de estos sistemas, el operador solo debe cerrar el ingreso de agua decantada y abrir la válvula de salida de agua de lavado y la operación se produce en forma automática y con la expansión correcta (25% a 30%).
- No se requiere instrumental sofisticado ni consolas o pupitres para la operación, aunque en plantas muy grandes se suelen incluir estas últimas.

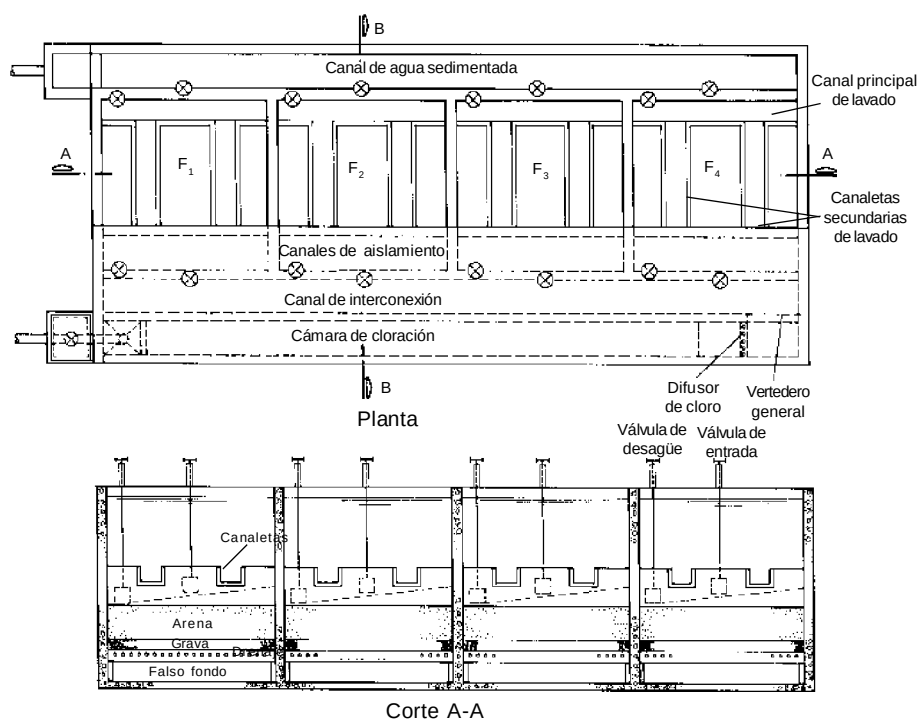


Figura 2-80. Vista en planta de una batería de filtros de tasa declinante y lavado mutuo (8)

- La batería de filtros opera bajo el principio de vasos comunicantes, las unidades están comunicadas por la entrada a través del canal de distribución de agua sedimentada y también por la salida mediante el canal de interconexión. Es por esta característica que todas las unidades presentan el mismo nivel y es posible controlar el nivel máximo de toda la batería con un solo vertedero-aliviadero en el canal de entrada.

a) *Descripción*

La batería de filtros está integrada por las siguientes estructuras (ver figura 2-81):

- Canal de distribución de agua decantada.
- Válvula tipo mariposa de ingreso a cada unidad.
- Canal de recolección de agua de lavado y válvula mariposa de salida.
- Canal de desagüe de agua de lavado.
- Válvula de compuerta para vaciar íntegramente el filtro.
- Cajas de los filtros con el medio filtrante de arena o lecho doble de antracita y arena, drenaje de viguetas prefabricadas de concreto y canaletas recolectoras de agua de lavado.
- Canal de aislamiento para cada filtro.
- Compuerta de paso entre el canal de aislamiento y el de interconexión.
- Canal de interconexión de toda la batería.
- Vertedero de salida que controla la carga para la operación de lavado.

b) *Puesta en marcha*

- Colocar todos los filtros en posición de operación normal de lavado: la válvula de entrada abierta y la de desagüe cerrada, para que los filtros se llenen gradualmente.
- Observar atentamente, a través del acceso al vertedero de salida de la batería, el momento en que el agua se aproxima al vertedero.
- Cuando el nivel del agua está muy cerca del vertedero, colocar en posición de lavado el filtro 1: válvula de entrada cerrada y de desagüe abierta.
- Esta operación debe ser muy breve. Solo se prolongará el tiempo necesario para que salga aire retenido en el medio filtrante, se cierra el desagüe y se

abre nuevamente el ingreso. Colocar rápidamente el filtro 2 en posición de lavado, proceder de igual forma y así sucesivamente, hasta que todos los filtros se hayan llenado en forma ascendente y se haya eliminado el aire retenido en los poros del material.

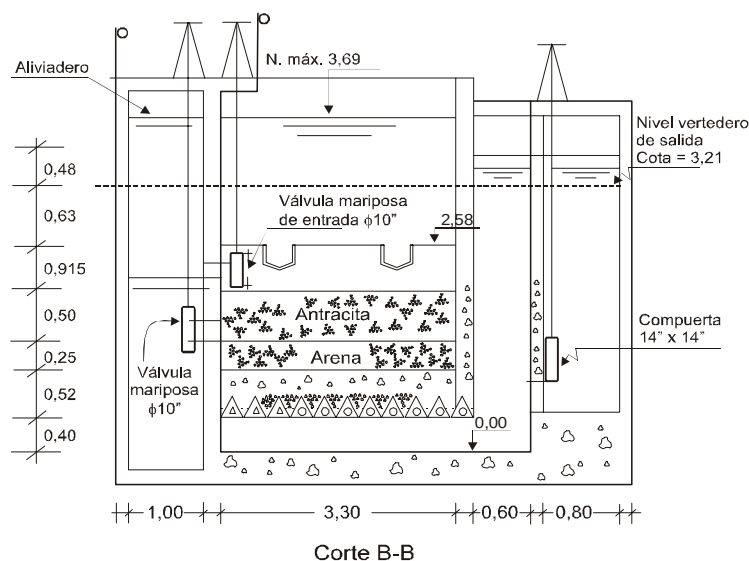


Figura 2-81. Filtro rápido de batería de lavado mutuo (8)

- Durante toda esta operación el agua producida se estará eliminando al desagüe. Se debe estar atento a que no pase al tanque de aguas claras, porque aún no reúne las condiciones apropiadas.

Calibración del vertedero de salida

- Concluida la operación anterior, esperar a que el agua esté a punto de voltear el vertedero de salida y colocar nuevamente en posición de lavado el filtro 1. Siguiendo el procedimiento descrito en el capítulo 3 de *Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada*, se debe medir la expansión del medio filtrante. Si la expansión obtenida está entre 25% y 30%, quiere decir que la carga que está proporcionando el vertedero es aceptable. Si está por debajo del rango indicado, quiere decir que es necesario elevarlo, para lo cual agregaremos tabillas machihembradas muy delgadas, de 3 a 5 cm hasta alcanzar un valor que esté dentro del rango.

- Si la expansión obtenida excede en mucho el rango indicado, se debe disminuir la altura del vertedero hasta obtener una expansión máxima de alrededor de 30%, para evitar pérdidas de material.

Duración del lavado

- Lavar en forma prolongada cada uno de los filtros de la batería para eliminar todo el material fino y el polvillo que haya entrado junto con el material durante la colocación del medio filtrante.
- Determinar la duración óptima de esta operación, aplicando el procedimiento descrito en el capítulo 3 de *Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada*. Esta determinación debe efectuarse en las épocas de estiaje y creciente de la fuente, porque la duración del lavado varía en función de la turbiedad que está tratando el sistema.



Figura 2-82. Vertedero de salida calibrable (1)

Instalación de la tasa declinante



Figura 2-83. Batería de filtros de tasa declinante y lavado mutuo de pequeña capacidad

Hasta este momento todos los filtros han estado operando con tasa o velocidad constante y la tasa declinante es una forma de operación que debe instalarse para que los filtros operen de este modo. Básicamente consiste en desfazar la operación de los filtros de manera que ninguno estará operando con la misma velocidad que el otro, pero entre todos producen el caudal de proyecto.

Para instalar la tasa declinante, debe seguirse el siguiente procedimiento:

- Lavar todos los filtros uno a uno en forma secuencial y durante el tiempo óptimo establecido.
- Para instalar la tasa declinante, determinar el intervalo entre lavados de la relación entre $24/N$, siendo N el número de filtros de la batería. Por ejemplo, si la batería tiene 6 filtros, $24/6 = 4$, y cada 4 horas deberá lavarse un filtro durante esta etapa.
- Los filtros deberán lavarse en forma secuencial: primero el filtro 1, luego de 4 horas se lava el filtro 2, y así sucesivamente, hasta lavar el último filtro.
- Anotar en el formulario de control la hora de lavado de cada filtro. Ver el formulario en el cuadro 2-9.

Cuadro 2-9. Formulario de control de lavado de filtros (1)

Fecha	Hora	Filtro	Observaciones
07/02/05	06:00	F1	Inicio de instalación de la tasa declinante (ITD)
	10:00	F2	
	14:00	F3	
	18:00	F4	
	22:00	F5	
08/02/05	02:00	F6	Finalizó la ITD, se inicia la operación normal
09/02/05	09:00	F1	Carrera = 51 horas
09/02/05	12:00	F2	Carrera = 50 horas
09/02/05	15:00	F3	Carrera = 49 horas

c) *Operación normal*

- A partir de que se hayan lavado todos los filtros a intervalos de $24/N$ horas y la tasa declinante esté instalada, se volverá a lavar el filtro 1 solo cuando el nivel del agua en toda la batería haya llegado al máximo y el agua esté rebosando por el aliviadero colocado en el canal de distribución de agua decantada.

- Después de lavado el filtro 1 y vuelto a poner en servicio, el nivel de toda la batería bajará al nivel mínimo de operación y se iniciará un nuevo ciclo, que concluirá cuando el nivel del agua llegue nuevamente a su posición máxima dentro de las cajas de los filtros y empiece a rebalsar por el aliviadero. En esta ocasión se lavará el filtro 2 y luego el filtro 3, y así sucesivamente se seguirá un estricto orden numérico.



Figura 2-84. Batería de filtros de tasa declinante y lavado mutuo de gran capacidad (1)

- Controlar el afluente y el efluente de cada unidad. La muestra del efluente se tomará en el canal de aislamiento.

Procedimiento para el lavado de un filtro

- Cuando el nivel de agua ha llegado al máximo indicado en la caja del filtro, consultar el formulario y determinar cuál es la unidad que toca lavar.
- Cerrar la válvula de ingreso de agua decantada.
- Abrir la válvula de desagüe de agua de lavado.



Figura 2-85. Filtros a presión de estructura vertical (1)

- Contar el tiempo de lavado determinado a partir del momento en que el agua de lavado alcanza el borde de las canaletas de recolección.
- Por lo menos una vez a la semana aprovechar el lavado para limpiar las paredes del filtro con escobillas.
- Al concluir el tiempo de lavado, cerrar la válvula de desagüe.

- Abrir lentamente la válvula de admisión de agua decantada.
- El operador anotará la fecha, hora y número del filtro en el formulario correspondiente.

Filtros rápidos a presión

a) Descripción

Generalmente son para pequeños caudales. Están contenidos en tanques de acero y existen dos tipos de estructuras: verticales y horizontales.

Presentan las siguientes características:

- El agua entra y sale a presión.
- El lecho filtrante descansa sobre un lecho soporte, compuesto de varias capas de granulometría decreciente. Normalmente el lecho filtrante es de un solo material: arena o antracita.
- El colector de agua filtrada debe ser una malla de tuberías perforadas, embebido dentro de la capa soporte o un falso fondo metálico con perforaciones y boquillas plásticas o metálicas.

b) Puesta en marcha

- Comprobar que las válvulas de entrada, salida, desagüe y purga de aire estén cerradas para evitar la salida del agua.
- Abrir la válvula de purga de aire.
- Abrir lentamente la válvula de entrada para dar inicio al llenado del filtro.
- Cerrar la purga de aire, después de extraer todo el contenido en el tanque del filtro.



Figura 2-86. Filtros a presión de estructura horizontal (1)

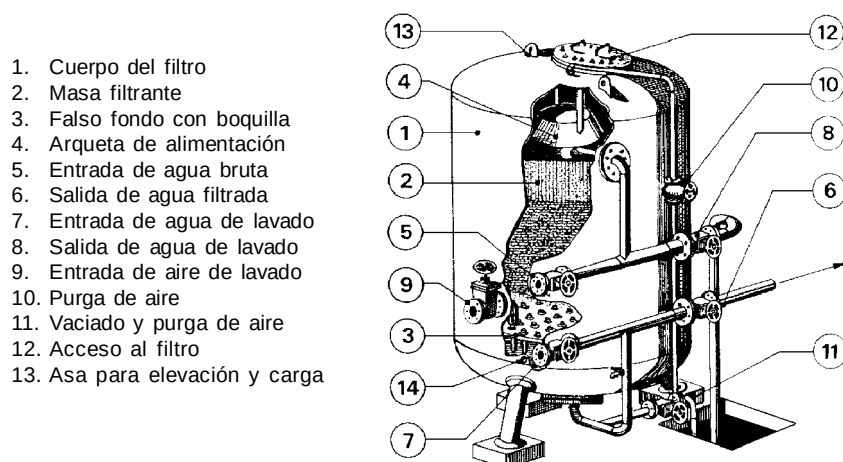


Figura 2-87. Filtro rápido a presión con lavado por retorno de agua (2)

- Abrir la válvula de desagüe para eliminar la producción inicial de agua filtrada, durante un tiempo que debe establecerse para cada filtro. Ver procedimiento de determinación del filtrado inicial en el capítulo 3 de *Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada*.

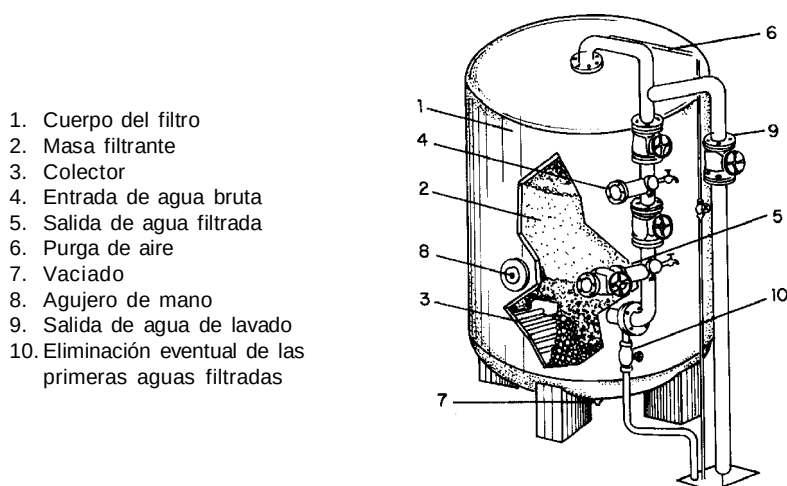


Figura 2-88. Filtro rápido a presión (2)

- Abrir la válvula de salida del filtro para iniciar la carrera del filtro u operación normal.

- Anotar en el formato de control el valor de la pérdida de carga, medida por medio de lecturas de los manómetros instalados en la entrada y salida del filtro.
- c) *Operación normal*
- Determinar cada hora turbiedad y pérdida de carga en el efluente y anotar los datos en el formulario de control.
 - Iniciar la operación de lavado cuando el filtro alcance la pérdida de carga máxima permitida por el sistema o cuando la calidad del agua llegue al límite máximo de turbiedad establecido por la norma local (5 UNT) o por la empresa, si es menor que la norma nacional (0,10 a 1,0 UNT).
- d) *Operación de lavado*
- Cerrar la válvula de entrada de agua al filtro.
 - Cerrar la válvula de salida para desconectarlo del resto del sistema.
 - Abrir la válvula de desagüe de agua de lavado.
 - Abrir lentamente la válvula de entrada de agua de lavado.
 - Prolongar la operación durante el tiempo necesario para obtener un agua con baja turbiedad. Ver el procedimiento para determinar el tiempo de duración del lavado en el capítulo 3 de *Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada*, de esta misma serie.
 - Cerrar lentamente la válvula de entrada de agua de lavado.
 - Anotar la cantidad de agua consumida, determinada en el registro totalizador del volumen de agua de lavado.



Figura 2-89. Instalación de lavado defectuosa (1)

Nota:

- Revisar con frecuencia la altura de arena dentro del filtro. Por defectos en la forma del drenaje o en la forma de entrada del agua de lavado, la arena expande demasiado y se pierde muy rápidamente. En la figura 2-88 se puede apreciar que la tubería de entrada de aire está ubicada a la derecha, por lo que la presión del aire será mayor en esta zona. La entrada de agua es puntual, pega contra una pantalla levantándose con fuerza y produciendo pérdida del medio filtrante, el cual se renueva todos los años.

En el filtro de la figura 2-90 el agua decantada entra en forma de un chorro contra el drenaje y la arena se pierde rápidamente. Cuando se evaluó esta unidad, quedaba menos de 50% de la altura de la arena. El problema es que no se ha diseñado ninguna forma de distribuir el agua en toda el área del filtro. El agua ingresa mediante un tubo que genera un chorro muy fuerte.

En la figura 2-91 el problema es que no se ha diseñado ninguna forma de distribuir el agua en toda el área del filtro, el agua ingresa mediante un tubo que genera un chorro muy fuerte contra el drenaje de boquillas, y estas, debido al impacto, duran muy poco.



Figura 2-90. Instalación de entrada de agua de lavado defectuosa (1)



Figura 2-91. Drenaje de boquillas del filtro a presión (1)

e) *Operación de parada del filtro.*

- Cerrar lentamente la válvula de entrada de agua decantada o cruda.
- Cerrar la válvula de salida de agua filtrada.

3.7 Desinfección

La desinfección es un proceso selectivo para la destrucción de los microorganismos patógenos (capaces de producir enfermedades), involucra un tratamiento especializado mediante el empleo de un agente físico o químico para la destrucción de aquellos microorganismos que pueden ser peligrosos o que sean objetables por inconvenientes o molestos.

Sustancias químicas usadas en la desinfección

Para la desinfección de las aguas de abastecimiento público, se usan generalmente las siguientes sustancias químicas ordenadas según su frecuencia de uso.

- Cloro y sus compuestos;
- ozono;
- luz ultravioleta;
- iones de plata.

3.7.1 Parámetros de operación

Los parámetros o factores que influyen la desinfección y que es posible controlar en la operación son los siguientes:

- Periodo de contacto. T_c (min)

Es el tiempo de contacto entre el cloro y el agua, necesario para la destrucción de todos los microorganismos patógenos. Depende del pH y la temperatura del agua. Cuanto mayor el tiempo de contacto, más efectiva su acción y la dosis de cloro puede ser menor.

- pH

El pH es un factor de mucha importancia en la cloración de las aguas, la desinfección es más eficiente a un pH bajo, en la práctica entre 6-7. El cloro gaseoso disuelto en agua reacciona en forma compleja para formar ácido hipocloroso (HOCl), y este, a su vez, se disocia formando cationes de hidrógeno (H^+) y aniones de hipoclorito (OCl^-). Ambos compuestos son desinfectantes, pero

el HOCl es mucho más eficiente que el OCl⁻, el que, en determinadas condiciones, tiene apenas el 2% de la capacidad bactericida del HOCl. En el cuadro 2-10 se puede apreciar cómo varía la reacción del cloro en el agua en razón del pH.

Cuadro 2-10. Concentración de ácido hipocloroso presente en función del pH del agua (2)

pH del agua	Cl ₂	HOCl % (Ácido hipocloroso)	OCl ⁻ % (Ion hipoclorito)
1	15	-	-
2	Muy poco	Mucho	-
5	-	99,5	0,5
6,0	-	96,5	3,5
6,4	-	92,5	7,5
7,0	-	72,5	27,5
7,2	-	67,0	33,0
8,0	-	21,5	78,5
8,4	-	14,5	85,5
9	-	4,2	95,8
10	-	-	100

3.7.2 Propiedades del cloro

- Físicas

El cloro gaseoso es de color amarillo-verdoso. Es sumamente inestable, por lo que no existe en estado libre en la naturaleza sino en forma de compuestos. Es 2,5 veces más pesado que el aire.

Propiedades del cloro en estado gaseoso:

- Símbolo atómico Cl
- Número atómico 17
- Peso atómico 35,457
- Punto de ebullición -34,5 °C
- Coefficiente de compresibilidad del líquido a 20° y entre 0-11: 0,0118%
- Conductividad eléctrica del líquido No conductor

- Temperatura crítica (solo gas) 144 °C
- Peso molecular 70,914
- Peso específico 2,486
- Solubilidad del cloro en agua a 25° 6,39 g/hora
- Pureza del producto 99,6%

Hipoclorito de calcio, $\text{CA}(\text{OCl})_2$

- Cloro utilizable en peso 65-70%
- Solubilidad teórica 22 g/100 mL de agua 18%
- Solubilidad práctica 3%
- Granulometría < 10% pasa tamiz #100
- Pérdidas por almacenaje (polvo o granular) en cloro utilizable/año 3-10%
- (polvo o granular) en peso/100 libras/año 3%-5%
- Solución al 1% 1/8 libras/galón

Hipoclorito de sodio

- Cloro utilizable en peso 12%-16%
- Pérdidas por almacenaje (en solución) en cloro utilizable/100 días 50%
- (polvo o granular) en peso/mes 2%-4%

Cuadro 2-11. Información útil sobre el hipoclorito de sodio (2)

% de cloro útil	Cloro equivalente en un gal – lb	Galones requeridos para obtener una libra de cloro
16	1,3	0,76
15	1,25	0,80
12,5	1,04	1,0
5	0,43	2,4
1	0,08	12,0

- Químicas

Es altamente corrosivo en presencia de humedad, ataca a casi todos los metales y a la materia orgánica. Su manejo es difícil.

- Tóxicas o fisiológicas

Es un gas sumamente tóxico, en pequeñas dosis irrita las mucosas y en especial las del aparato respiratorio y las de los ojos, produciendo tos, y en fuertes cantidades puede producir la muerte.

El cloro en estado líquido causa quemaduras en la piel.

3.7.3 Cloración

La cloración consiste en la adición de cloro al agua con los siguientes objetivos:

- Desinfectarla.
- Controlar olores y sabores (remoción de amonio y sus compuestos y otros compuestos nitrogenados).
- Remover color.
- Remover hierro y manganeso (compuestos orgánicos y oxidables).
- Prevenir el crecimiento de algas y microorganismos.

Demanda de cloro

Es la diferencia entre la cantidad de cloro aplicado al agua y el cloro residual disponible al final de un periodo de contacto especificado; es decir que es la cantidad de cloro necesaria para oxidar la materia orgánica en el agua. Es un parámetro de expresión de la calidad del agua.

Dosis de cloro

En el tratamiento de agua para el consumo humano, la dosis de cloro es la cantidad de cloro que se debe agregar a un volumen de agua para garantizar la destrucción de los microorganismos que pueden estar presentes.

Para la adopción de una dosis de cloro, debemos investigar cuál es la curva de quiebre para esa agua (ver figura 2-92) y sobre la base de esta fijar la dosis y la zona en la curva en la cual deseamos desinfectar. Normalmente, es recomendable dosificar para obtener un residual de cloro libre mayor de 0,2 mg/L. En presencia de una epidemia de cólera en la Región, se aconseja un residual libre de 0,5 mg/L como medida de prevención.

Zona A: La zona A es la demanda de cloro y se define como la cantidad de cloro agregado para producir un residual medible.

Zona B: En esta zona el cloro reacciona con el amoníaco y nitrógeno orgánico en el agua y se miden residuales de cloro combinado.

Zona C: Esta es la zona crucial, pues a partir de ella se obtiene el residual de cloro libre deseado, que constituye el requerimiento de cloro para la cloración con residual.

Zona D: En esta zona solo existe cloro residual libre. Cualquier aumento en la dosis de cloro es proporcional al residual del agua. Para el cálculo de la cantidad de cloro que se va a dosificar, use la siguiente fórmula:

$$C = \frac{D \times Q}{100}$$

D = dosis de cloro (mg/L)

Q = caudal (m³/unidad de tiempo)

C = cantidad de cloro por dosificar (kg/unidad de tiempo)

Método rápido para la determinación del “punto crítico” o “punto de quiebre”

Introducir al agua cruda una dosis de cloro ampliamente en exceso (A en la figura 2-92).

La determinación del cloro residual (Aa) después del contacto permite determinar aproximadamente el valor del punto de quiebre.

$$Om = OA - Aa$$

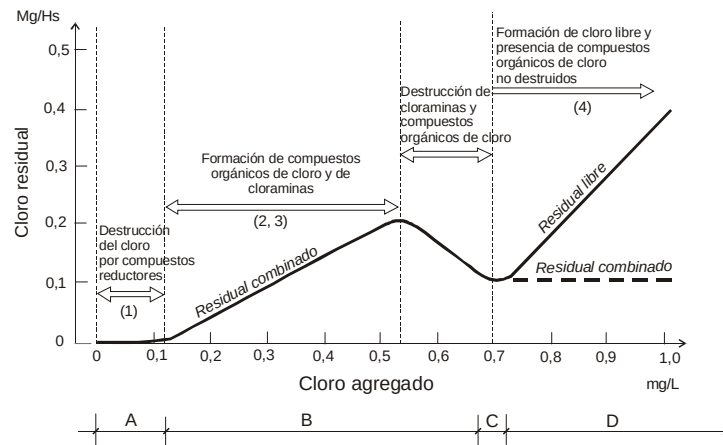


Figura 2-92. Curva de absorción de cloro (2)

Sistema de cloración

a) Cilindros

Los cilindros de cloro son de acero especial y de varios tamaños. Los más frecuentes son:

- cilindro de 100 y 150 lb (ver figura 2-94);
- cilindro de 1 ton (ver figura 2-95);
- cilindro-tanque de 15–17 toneladas.

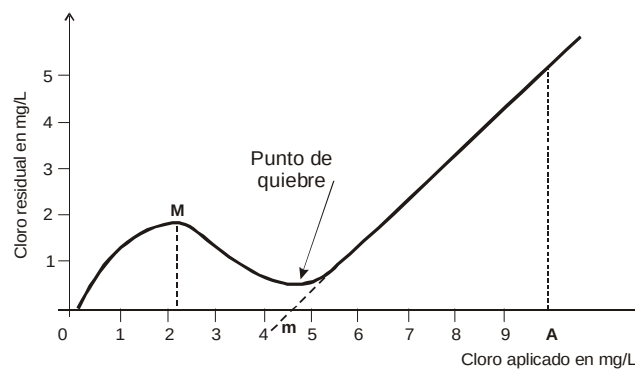


Figura 2-93. Curva de demanda de cloro (2)

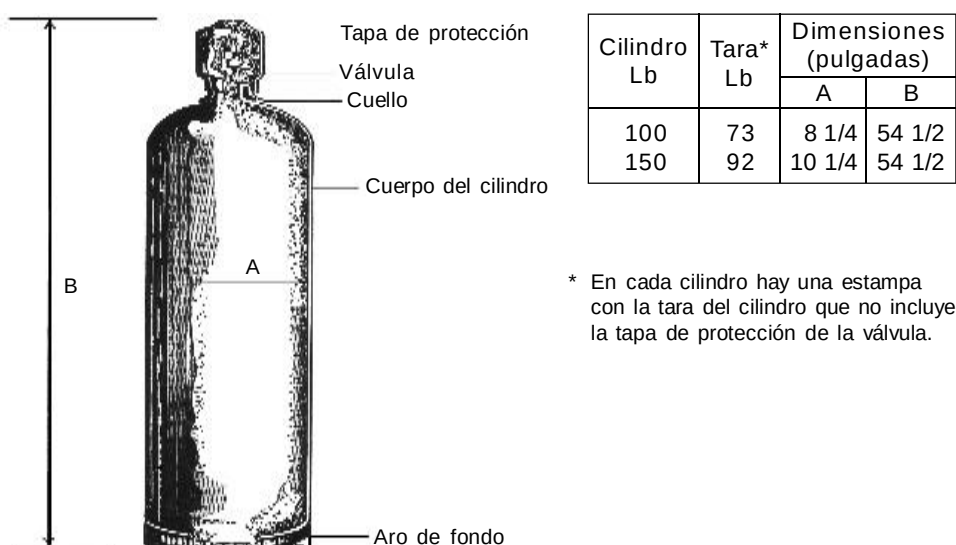


Figura 2-94. Cilindros de 100 a 150 lb (2)

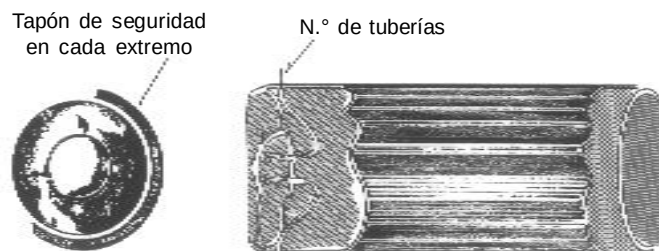


Figura 2-95. Cilindros de una tonelada (2)

El peso aproximado de los cilindros vacíos es de 3.500 libras.

- b) Líneas de conexión
- Líneas de conexión de cloro gaseoso

La conexión al cilindro se hace por medio de una válvula auxiliar con empaquetadura de plomo, seguida por una conexión flexible de 3/16" y diámetro externo de longitud generalmente de 4'. Esta tubería se une a un *manifold* en el

caso de más de un cilindro, el cual sigue hasta una válvula de suministro (manual o automática). Se conecta al clorador mediante una tubería de acero SCH-80 con pendiente positiva hasta el clorador, utilizando *fitting* forjado. Una válvula reductora de presión se usa a menudo para evitar las presiones excesivas que pueden producirse a consecuencia de la temperatura del cloro en el cilindro. Como se observa en la figura 2-96, la presión crece con la temperatura.

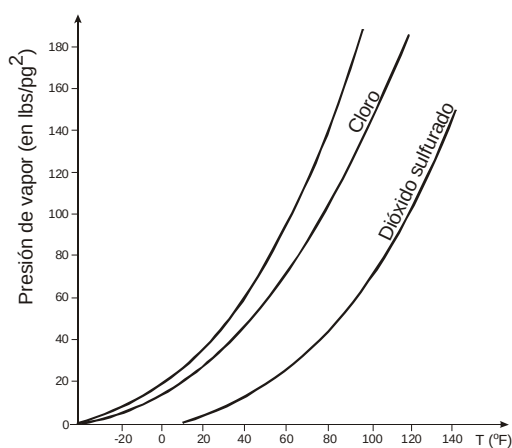


Figura 2-96. Curva de presión versus temperatura en el cilindro de cloro (2)

c) Cloradores

Para la aplicación del cloro gaseoso, en el tratamiento de las aguas existen dos tipos de cloradores:

- Cloradores de tipo directo: son los que aprovechando la presión del cilindro de cloro, aplican directamente el cloro gaseoso a la masa líquida que va a ser desinfectada.
- Cloradores del tipo de solución al vacío: son los que succionan el gas por medio de un vacío producido en un inyector, que lo mezcla con agua para formar una solución que luego es conducida al punto de aplicación.

3.7.4 Operación normal de cloradores

Cloradores de tipo directo

a) Descripción

Generalmente son dosificadores compactos en los que la presión del gas cloro proveniente del cilindro es reducida en el aparato que regula la cantidad por dosificar por medio de un rotámetro. Luego el cloro es enviado al punto de aplicación por presión. La aplicación se efectúa por medio de un difusor colocado dentro de la masa líquida que va a ser desinfectada según se observa en la figura 2-97.

Usualmente el clorador está instalado en localidades donde no existe la presión de agua necesaria para operar un inyector o donde no hay electricidad para operar una bomba que permita la utilización de los inyectores.

Tienen una serie de limitaciones y deficiencias. Mencionamos algunas de ellas a continuación:

- La máxima presión en el punto de aplicación es $1,41 \text{ kg/cm}^2$.
- Acentuadas pérdidas de cloro debido a que el clorador trabaja a presión.
- La mezcla de gas cloro se efectúa por difusión en el punto de aplicación.
- Limitaciones en la capacidad de dosificación a presión de 34 kg/día .
- Limitaciones en la capacidad de dosificación para tanque abierto en 135 kg/día .

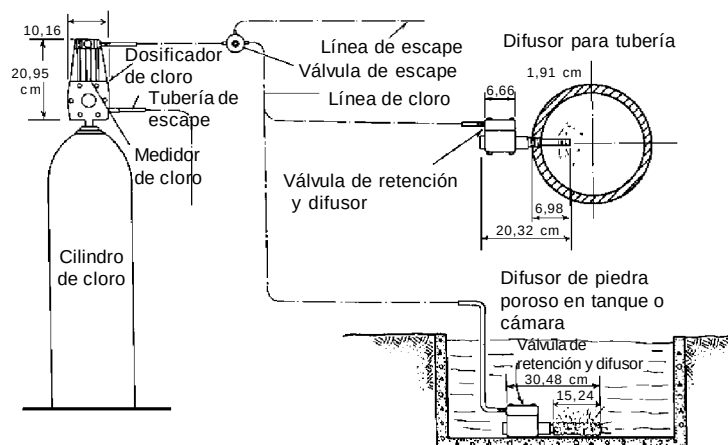


Figura 2-97. Clorador de aplicación directa (2)

b) Puesta en marcha

- Manipular el cilindro de cloro y colocarlo en la balanza para determinar el peso del cloro líquido.
- Observar en la balanza el peso bruto del cilindro, más el peso del cloro líquido.

- Restar el peso bruto, determinando el peso bruto del cilindro vacío que aparece registrado (*tara*) para fijar el peso neto del gas cloro licuado que contiene el cilindro.
 - Anotar en el formato de control de cloración el peso neto obtenido en el pesaje, el peso del cilindro vacío y el peso neto del gas cloro.
 - Quitar la tapa de protección del cilindro, usando las herramientas adecuadas.
 - Colocar un empaque nuevo en la válvula auxiliar.
 - Hacer coincidir la tuerca de la válvula auxiliar con la rosca ubicada en la válvula del cilindro y afirmar la unión por medio de una llave ajustable.
 - Abrir lentamente la válvula del cilindro accionándola según el giro de las manecillas del reloj.
 - Verificar si existen fugas de cloro, utilizando una solución de amoníaco; se deben chequear todas las unidades.
 - Abrir la válvula de conexión con el *manifold* usando la llave adecuada para hacer pasar gas al dosificador.
- c) Operación normal
- Ajustar la dosificación a la requerida rotando la perilla del clorador. Hacia la izquierda se aumenta la dosificación.
 - Determinar el residual de cloro en el efluente de la planta y anotarlo en el formato de control de cloración. Es recomendable hacerlo cada hora.
 - Verificar la existencia de fugas, por lo menos una vez al día, en todas las uniones y conexiones de la instalación. Recuerde que no debe tolerar ninguna fuga de cloro.
 - Determinar el peso del cloro consumido durante el día y anotarlo en el formato de control.

3.7.5 Clorador de solución al vacío

a) Descripción

Los cloradores de este tipo están provistos de dispositivos que controlan e indican la dosificación de un flujo de cloro. Poseen un método simple para ajustar la dosificación en cualquier valor dentro del rango del equipo, mezclador del gas cloro con agua y conexiones para la entrega de la solución resultante al punto de aplicación (ver figura 2-99).

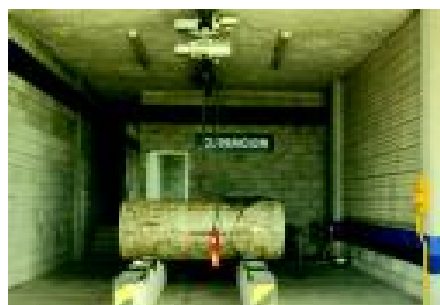


Figura 2-98. Caseta de cloración al vacío (2)

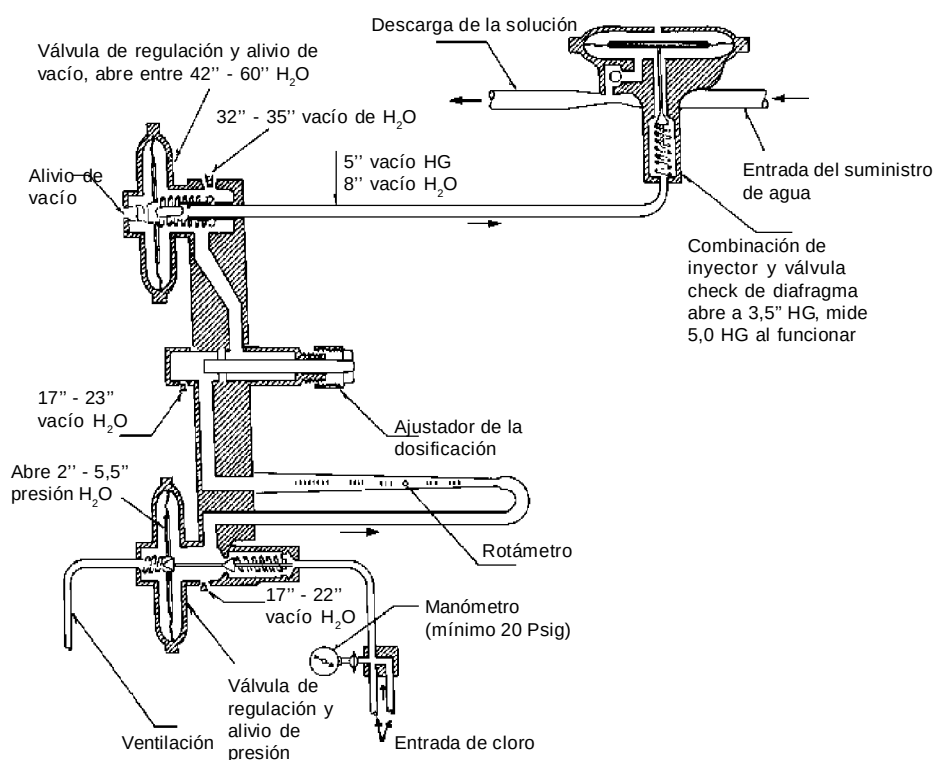


Figura 2-99. Clorador de solución al vacío (2)

a) Puesta en marcha

- Manipular el cilindro de cloro y colocarlo en la balanza para determinar el peso del cloro líquido.
- Observar en la balanza el peso bruto del cilindro, más el peso del cloro líquido.
- Restar el peso bruto, determinando el peso bruto del cilindro vacío que aparece registrado en el mismo cilindro (*tara*), para determinar el peso neto del gas cloro licuado que contiene.
- Anotar en el formato de control de cloración el peso neto obtenido en el pesaje, el peso del cilindro vacío y el peso neto del gas cloro.
- Quitar la tapa de protección del cilindro usando herramientas adecuadas.
- Colocar un empaque nuevo en la válvula auxiliar.
- Hacer coincidir la tuerca de la válvula auxiliar con la rosca ubicada en la válvula del cilindro y ajustar la unión por medio de una llave ajustable.
- Abrir lentamente la válvula del cilindro accionándola según el giro de las manecillas del reloj.
- Verificar si existen fugas de cloro, utilizando una solución de amoníaco; se deben chequear todas las unidades.
- Abrir la válvula de conexión con el *manifold* usando la llave adecuada para hacer pasar el gas dosificador.

b) Operación normal

- Ajustar la dosificación según la requerida rotando la perilla del clorador; hacia la izquierda se aumenta la dosificación.
- Determinar el residual de cloro en el efluente de la planta y anotarlo en el formato de control de cloración; es recomendable hacerlo cada hora.
- Verificar la existencia de fugas; por lo menos, una vez al día, en todas las uniones y conexiones de la instalación. Recuerde que no se debe tolerar ninguna fuga de cloro.

- Determinar el peso del cloro consumido durante el día y anotarlo en el formato de control.
- c) Parada del equipo
- Cerrar el suministro de cloro al clorador accionando la válvula de control en el sentido indicado para evitar el paso del cloro.
 - Cuando el rotámetro del clorador marque cero (0), rotar la perilla hasta la posición de cerrado.

El inyector mostrado en la figura 2-99 produce un vacío que extrae el gas cloro desde el clorador y lo mezcla con el agua que fluye a través del eyector. Una válvula y un diafragma *check* están integrados al inyector para prevenir un contraflujo de agua hacia el resto del clorador en caso de que se corte el agua del suministro del inyector y la descarga del inyector continúe a presión. Una válvula reguladora de vacío y alivio ajusta el vacío del inyector.

El gas cloro a presión pasa por la entrada del clorador y sigue hacia el lado inferior de la válvula de regulación y alivio de presión (ver figura 2-99). En ese punto, la presión del gas se reduce a un valor menor que la presión atmosférica, porque la válvula no se abrirá a no ser que se haya producido un vacío en el inyector. Si por cualquier razón la válvula hace pasar gas cloro cuando el vacío no se haya producido, el diafragma se levantará del vástago para permitir que este gas pase hacia la ventilación.

Desde la válvula de regulación y alivio de presión del gas cloro, pasa a través de un rotámetro, que es el indicador de la dosificación en una escala de lectura fácil.

La dosificación se controla mediante la posición de un orificio de sección variable a través del cual existe una presión diferencial constante a un valor menor que la atmosférica y que es mantenida por la operación combinada de la válvula de regulación y alivio y la válvula de regulación y alivio de presión.

La operación de este equipo puede ser:

De control manual

Requiere un operador que ajuste la dosis en función del volumen de agua por tratar y la demanda de cloro necesaria para mantener el residual deseado (ver figura 2-99).

De control semiautomático

Opera en función del volumen de agua por tratar y es controlado por una válvula de flotador o de presión con contacto eléctrico, que acciona la alimentación al inyector produciendo un vacío (ver figura 2-99).

De control automático

Este clorador funciona automáticamente, aumentando y disminuyendo la dosificación de acuerdo con el volumen de agua medida, por medio de medidores diferenciales (venturi, platina, etcétera) que producen una señal que ajusta la válvula de vacío que controla la capacidad del clorador (ver figura 2-99).

Puesta en marcha del clorador de control automático

- Manipular el cilindro de cloro y colocarlo en la balanza para determinar el peso del cloro líquido.
- Observar en la balanza el peso bruto del cilindro más el peso del líquido de cloro.
- Restar del peso bruto determinado el peso del cilindro vacío que aparece registrado en el cilindro mismo (*tara*) para precisar el peso neto del gas cloro licuado que contiene.
- Anotar en el formato de control de cloración el peso neto obtenido en el pesaje, el peso del cilindro vacío y el peso neto del gas cloro.
- Quitar la tapa de protección del cilindro usando las herramientas adecuadas.
- Colocar un empaque nuevo en la válvula auxiliar.

- Hacer coincidir la tuerca de la válvula auxiliar con la rosca ubicada en la válvula del cilindro y ajustar la unión por medio de una llave ajustable.
- Abrir lentamente la válvula del cilindro accionándola según el giro de las manecillas del reloj.
- Verificar si existen fugas de cloro utilizando una solución de amoníaco. Se deben chequear todas las uniones.
- Abrir la válvula de conexión con el *manifold* usando la llave adecuada para hacer pasar el gas cloro al dosificador.
- Abrir la válvula del inyector para dar paso al agua y producir el vacío necesario para el inicio de la cloración.

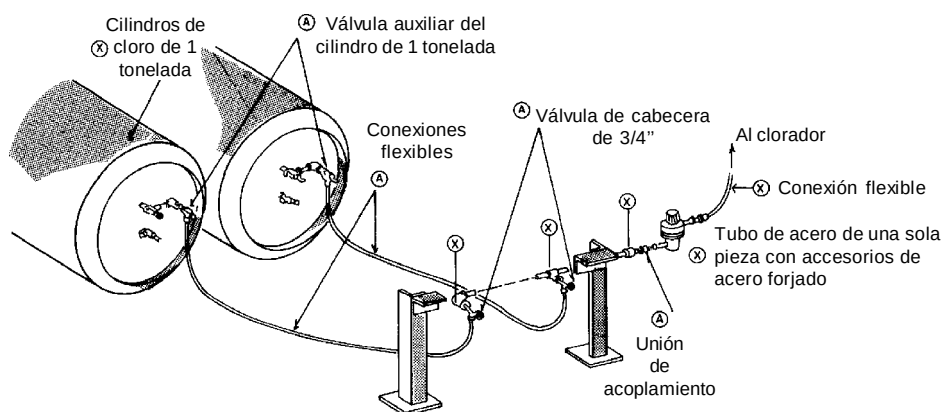


Figura 2-100. Conexión con el cilindro de cloro (2)

Operación normal

- Ajustar la dosificación rotando la perilla del clorador; hacia la izquierda se aumenta la dosificación.
- Determinar el residual de cloro en el efluente de la planta y anotarlo en el formato de control de la cloración. Es recomendable hacerlo hora tras hora.

- Observar que los manómetros del inyector registren las presiones establecidas para la operación normal del equipo.
- Verificar la existencia de fugas, por lo menos una vez al día en todas las uniones y conexiones de la instalación. Recuerde que no se debe tolerar ninguna fuga de cloro.
- Determinar el peso del cloro consumido durante el día y anotarlo en el formato de control.

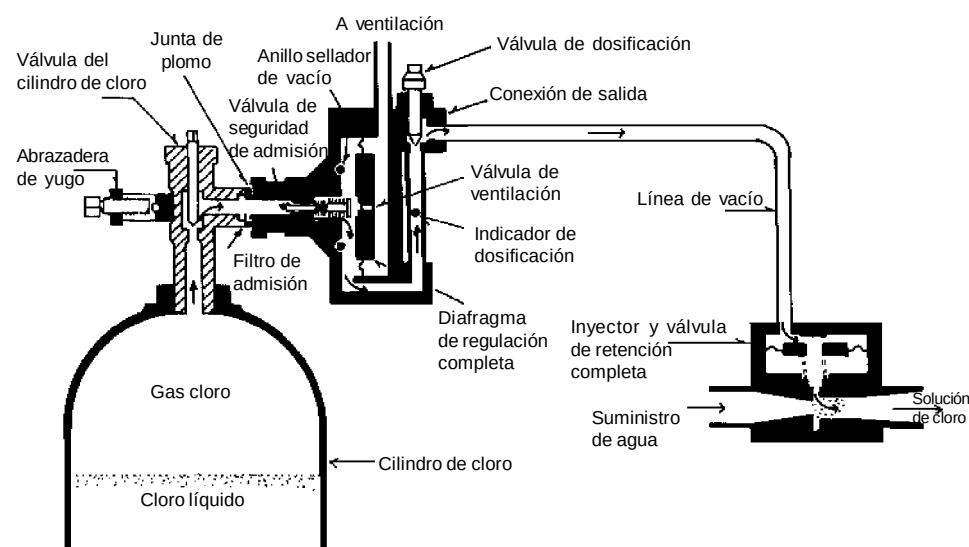


Figura 2-101. Instalación de un clorador de solución al vacío (2)

Parada del equipo

- Cerrar el suministro de cloro al clorador accionando la válvula de control en el sentido indicado para evitar el paso del cloro.
- Cerrar la válvula de suministro de agua al inyector cuando la presión del manómetro de gas marque cero.

REFERENCIAS

- (1) Canepa de Vargas, L. Estudios e ilustraciones de archivos personales. Lima, CEPIS, 2005.
- (2) Programa Regional HPE/OPS/CEPIS de Mejoramiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. *Manual VI. Operación*. Serie Filtración Rápida. Lima, CEPIS, 1992.
- (3) Programa Regional HPE/OPS/CEPIS de Mejoramiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. *Manual V. Criterios de diseño*. Serie Filtración Rápida. Lima, CEPIS, 1992.
- (4) Programa Regional HPE/OPS/CEPIS de Mejoramiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. *Manual I. Teoría*. Serie Filtración Rápida. Lima, CEPIS, 1992.
- (5) Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. "Optimizing Water Treatment Plant Performance Using the Composite Correction Program". Washington, EPA, 1998.
- (6) Richter, C. "Decantación". Documento no publicado, 1982.
- (7) Programa Regional HPE/OPS/CEPIS de Mejoramiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. *Manual IV. Evaluación*. Serie Filtración Rápida. Lima, CEPIS, 1992.
- (8) CEPIS/OPS. *Manual II: Diseño de plantas de tecnología apropiada. Plantas de filtración rápida. Tratamiento de agua para consumo humano*. Lima, CEPIS/OPS, 2004.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. *Process design manual for suspended removal*. Washington, EPA, 1971.
- American Water Works Association. *AWWA Standard for Aluminum Sulfate Comp., Ground, or Liquid*. AWWA B 403-70, 1970.

- CETESB. *Técnica de abastecimiento. Tratamiento de agua*. Segunda edición revisada. São Paulo, 1977.
- Degremont. *Manual técnico del agua*. Cuarta edición en español. 1979.
- Department of the Navy Bored of Yards and Docks. *Maintenance and Operation of Water Supply Systems*. Navdocks Mo-210. Washington, 1964.
- Gamarada, H., Emilio. *Manual elemental para la cloración del agua*. México, D. F., 1975.
- Pérez, J. M. y Canepa de Vargas, L. *Actividades de evaluación de plantas*. Versión preliminar. Lima, CEPIS, 1982.
- Pérez, J. M. y Canepa de Vargas, L. *Actividades de evaluación. Procesos unitarios*. Versión preliminar. Lima, CEPIS, 1982.
- Pérez, J. M. y Canepa de Vargas, L. *Filtración rápida convencional*. Versión preliminar. Lima, CEPIS, 1982.
- SABESP. *Tratamiento de agua*. Volumen I. 1980.
- Sandoval, C. V.; Núñez, J. G. y Carrasco, J. T. *Manual de instalación, operación, mantenimiento y servicio clorador V-75*. Santiago, 1975.
- White, Geo Clifford. *Handbook of chlorination for potable water, wastewater, cooling water, industry processes and swimming pools*. Nueva York-Cincinnati-Toronto-Londres-Melbourne, Van Nostrand Reinhold Company, 1972.

