

## **CAPÍTULO 3**

### **OPERACIÓN DE PLANTAS DE TECNOLOGÍA IMPORTADA**

## **1. INTRODUCCIÓN**

Las plantas de tratamiento patentadas o de tecnología importada no son una solución recomendable para nuestro medio, pero existen en regular cantidad en muchos países de América Latina, y su funcionamiento, por lo general, es muy defectuoso, debido principalmente a los escasos recursos económicos disponibles para darles un adecuado mantenimiento y a la falta de personal calificado para garantizar la correcta operación.

Debido al deterioro de las fuentes de abastecimiento, es de imperiosa necesidad mejorar la calidad del tratamiento del agua en los sistemas existentes, por lo que en un esfuerzo para mejorar el nivel de los operadores de este tipo de plantas, se ha desarrollado el presente capítulo.

### **1.1 Objetivo**

Proporcionar a los responsables y operadores de las plantas patentadas los procedimientos técnicos de operación y manejo de cada uno de los elementos que intervienen en el proceso de tratamiento de agua, tales como equipos mecánicos (dosificadores, sistemas de bombas, sistemas de rejillas, etcétera), decantadores del tipo de manto de lodos y filtros.

### **1.2 Justificación**

La correcta operación de los diferentes elementos permitirá garantizar la continuidad y eficiencia durante el proceso de tratamiento, ya que de lo contrario, se corre el riesgo de poner fuera de servicio uno o más elementos, hecho que, sin lugar a dudas, repercutirá en la calidad del agua producida.

## **2. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA EN PLANTAS PATENTADAS**

La secuencia de unidades típicas que constituyen una planta de patente es:

1. Captación;
2. desarenación, precloración;
3. coagulación;
4. clarificación en decantadores del tipo de manto de lodos;
5. filtración;
6. desinfección.

Las tres primeras barreras de tratamiento ya han sido abordadas con anterioridad, así como la sexta, por lo que trataremos principalmente sobre la operación de las unidades características de este tipo de plantas: las unidades de manto de lodos y los filtros de tasa constante altamente equipados.

### **2.1 Decantadores de manto de lodos**

El agua coagulada, agua con partículas coloidales desestabilizadas, ingresa a las unidades de clarificación del tipo de manto de lodos, a fin de que estas partículas puedan flocular y decantar. Para ello es necesario ponerlas en contacto unas con otras. En este tipo de unidades la posibilidad de encuentro o aglomeración de estas partículas es función de su concentración en el agua cruda.

El contacto entre las partículas se consigue por medio de una agitación lenta, de modo que no se rompa el flóculo ni se provoque una nueva resuspensión coloidal (reestabilización coloidal).

Es necesario que las partículas que ingresaron anteriormente, y que están en contacto con el agua que se está tratando, se encuentren en el mismo estado físico que las formadas por los reactivos añadidos. Por lo tanto, los fangos que se introducen no deben haberse aglomerado a causa de una decantación prolongada que puede dar lugar a una excesiva deshidratación. Para conseguir que los fangos se mezclen con el líquido, se dispone de las siguientes alternativas tecnológicas:

- a) Decantadores de manto de lodos pulsantes;
- b) decantadores de separación dinámica;
- c) decantadores de agitación simple.

## 2.2 Filtros

Las aguas efluentes de los clarificadores ingresan a los filtros, para que las partículas no retenidas en las unidades de manto de lodos lo sean en el medio filtrante. A continuación se dan algunas características de los sistemas de filtración en plantas patentadas.

- Utilizan lecho filtrante de diámetro uniforme.
- Generalmente, el sentido del flujo es descendente y operan a gravedad.
- Operan con una velocidad de filtración y nivel de agua constantes, y la velocidad es limitada por la pérdida de carga máxima que pueden alcanzar. Para mantener la velocidad de filtración constante, requieren dispositivos de control de nivel y caudal aguas arriba o aguas abajo del filtro (o ambos). Estos dispositivos de control son operados automáticamente utilizando dispositivos mecánicos y eléctricos. Así tenemos los más conocidos: conjunto sifón-caja parcializadora, válvula de mariposa electro-neumática, etcétera.
- El falso fondo de estas unidades está equipado por toberas o boquillas de plástico que permiten:
  - El paso de agua filtrada a la cámara de recolección.
  - El ingreso de agua y aire en contracorriente durante el lavado del filtro.
- Durante el lavado usualmente no se produce la expansión de la arena. Cuando la hay, no es más de 10%. La inyección de aire es solo para producir la fricción entre los granos y desprender el material adherido.
- Para el retrolavado, se utilizan bombas o tanques elevados.

## 2.3 Desinfección

Consiste en la destrucción o eliminación total de los microorganismos patógenos por medio de la adición de cloro u otro desinfectante que posea propiedades bactericidas (compuestos de cloro, ozono, luz ultravioleta, etcétera).

Luego de aplicado el cloro, el agua pasa a la cámara de contacto, en la que el cloro reacciona con el agua; el tiempo de contacto mínimo debe ser 30 minutos.

La desinfección con cloro no es exclusiva de las plantas de patente; es un proceso que se aplica también a las otras tecnologías.

### **3. OPERACIÓN**

#### **3.1 Captación**

##### *3.1.1 Operación del sistema de rejas*

##### **Operación de puesta en marcha**

- Verificar que las rejas no contengan residuos sólidos adheridos a las barras.
- Accionar el dispositivo de control, hasta la posición de apertura o “marcha” de la compuerta o válvula que deja en operación la unidad.

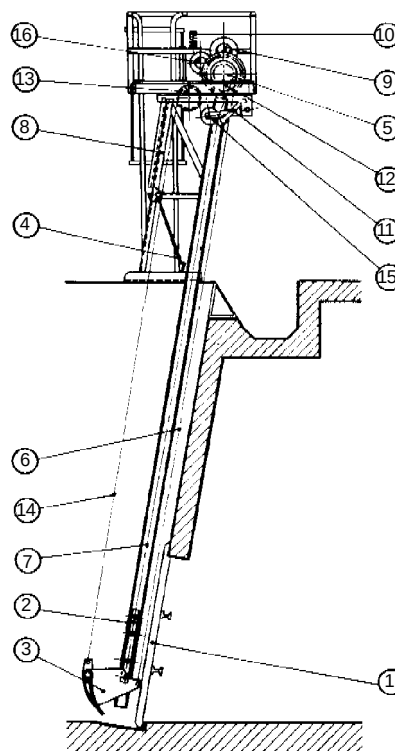
Para el caso de las rejas de limpieza mecánica (figura 3-1), se debe utilizar un garfio o cucharón oscilante movido por un cable y unido a un carro móvil accionado por dos cables. Se debe verificar el funcionamiento de dicho carro, así como el de los cables. Para ello hay que tomar en cuenta lo siguiente:

- Se debe verificar el estado de operación de las poleas de transmisión del garfio y del cable del garfio.
- Realizar el ajuste correspondiente al motorreductor del garfio a la velocidad deseada, teniendo en cuenta la cantidad de sólidos acumulados.
- Verificar el estado de operación del eje del tambor del cable.

##### **Operación normal**

- Inspeccionar constantemente las rejas para observar la cantidad de sólidos retenidos y proceder a efectuar la limpieza en forma manual, utilizando las herramientas de trabajo adecuadas.

1. Reja
2. Carro portagarfio
3. Garfio oscilante
4. Eyector
5. Tambor de cable del carro
6. Cable de accionamiento del carro
7. Deslizaderas
8. Pórtico
9. Motorreductor del carro
10. Limitador de esfuerzo
11. Polea de giro del carro
12. Tambor de cable del garfio
13. Polea de transmisión del garfio
14. Cable del garfio
15. Polea de giro del garfio
16. Motorreductor del garfio



**Figura 3-1.** Sistema mecánico de limpieza de rejillas (1)

- El funcionamiento del sistema de limpieza mecánico es discontinuo, controlado por un reloj eléctrico, de cadencia-duración regulable o por un indicador de pérdida de carga diferencial, o una combinación de ambos; durante la operación, verificar la limpieza que realizan los rastrillos en los intervalos de tiempo fijados.

#### Parada de la unidad

- Detener el sistema eléctrico del dispositivo de limpieza. Esto se debe realizar generalmente cuando las escobillas, rastrillos o garfios se encuentran abajo.
- Accionar en el sentido indicado y hasta la posición de cerrado o de parada las compuertas de ingreso de agua.

- Limpiar, en forma manual, los sólidos retenidos en las rejillas, y dejar disponible para la puesta en marcha.

### **3.2 Desarenador. Precloración**

#### *3.2.1 Operación del desarenador*

##### **Puesta en marcha**

- Accionar en el sentido indicado, hasta la posición de apertura, las válvulas de ingreso (3), (1) y (2) y luego las de salida (6) (figura 3-2).
- Indicar el punto de observación para medir el nivel del sedimento del desarenador. Generalmente es el punto más profundo de la zona de depósito.

##### **Operación normal**

- Medir el nivel de depósito del sedimento por medio de una varilla indicadora cada cuatro horas o según la turbiedad del agua cruda (figura 3-3).
- Cuando el nivel del sedimento alcance el máximo, se procede a la limpieza manual con agua.
- Operar simultáneamente todos los desarenadores a fin de optimizar el proceso de sedimentación de partículas discretas.
- Retirar los cuerpos flotantes a la orilla de la unidad y luego llevarlos al lugar de disposición.

##### **Parada de la unidad**

- Accionar las compuertas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 de entrada y salida de agua, en el sentido indicado hasta la posición de cerrado o parada (figura 3-2).

##### **Operación de limpieza**

- Abrir la compuerta de desagüe.
- Abrir la válvula de ingreso de agua en un 50% para eliminar el sedimento depositado.

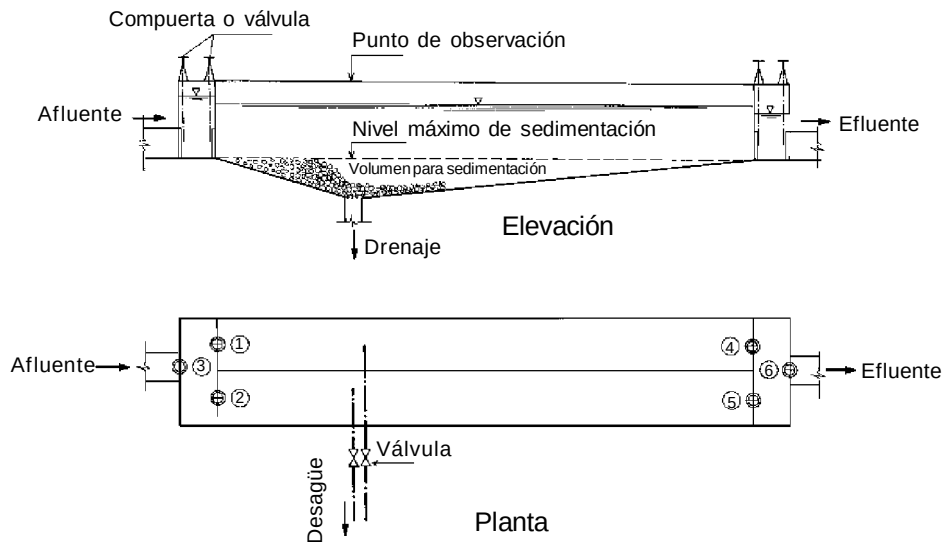


Figura 3-2. Desarenador (2)

- Utilizar una manguera con agua a presión para lavar las paredes de la unidad.
- Cerrar la válvula de ingreso de agua del desarenador cuando todo el sedimento haya sido eliminado.
- Dejar fuera de servicio la manguera de agua a presión.
- Cerrar la válvula de desagüe y luego proceder con las operaciones de puesta en marcha.

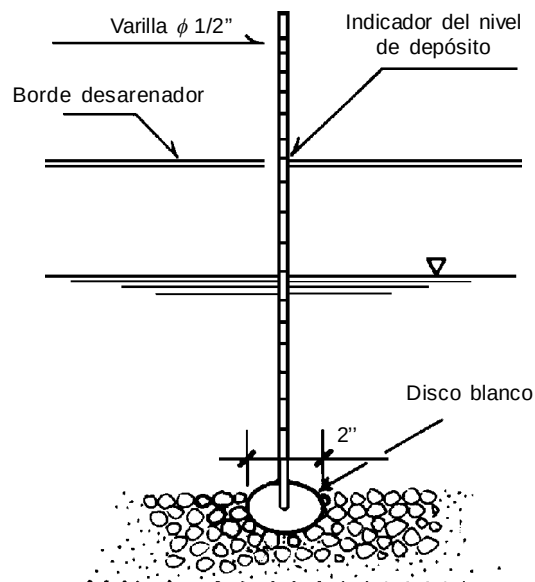


Figura 3-3. Varilla indicadora del nivel de sedimento en el desarenador (2)



### **3.3 Sustancias químicas. Equipos dosificadores y unidades de mezcla rápida**

Los aspectos relacionados con el manejo de las sustancias químicas ya han sido abordados en el capítulo anterior y son los mismos que se deben tener en cuenta en el caso de una planta de tecnología importada. Considerando que en el caso de esta tecnología es usual disponer de dosificadores mecanizados, en este acápite incluiremos los aspectos relacionados con la operación de dosificadores en seco y solución por bombeo.

#### *3.3.1 Operación de los equipos dosificadores de sustancias químicas*

Los dosificadores de sustancias químicas son dispositivos capaces de descargar cantidades prefijadas de sustancias en una unidad de tiempo.

Dentro de las plantas de tratamiento de agua patentadas es usual encontrar dosificadores en seco y de solución por bombeo.

##### **a) Dosificadores en seco**

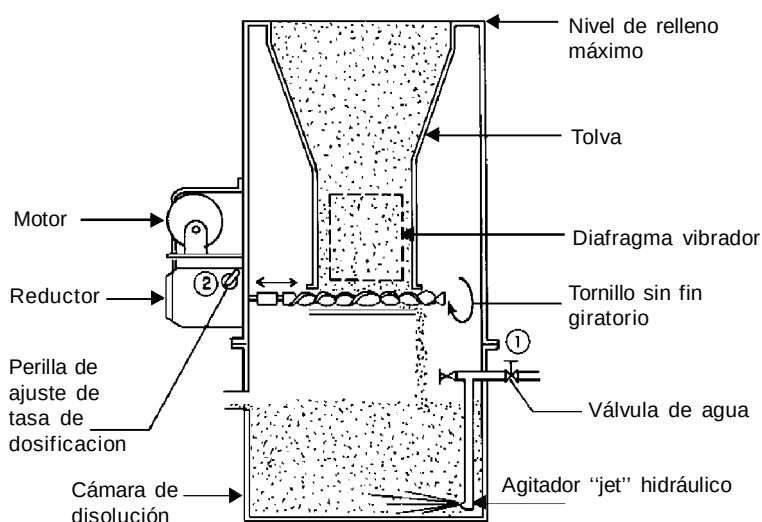
Especialmente utilizados para la dosificación de cal y sulfato de aluminio; el más utilizado es el dosificador de tornillo giratorio (figura 3-4).

#### *Operación del sistema de dosificación de tornillo giratorio*

El dosificador funciona por medio de un tornillo sumergido en la masa de la sustancia química que va a ser dosificada. La velocidad de giro de este tornillo está dada por la graduación del dial o dispositivo de regulación.

En la parte superior del tornillo se encuentra la tolva de almacenamiento de la sustancia, equipada con una sonda de control de nivel, un equipo de recuperación de polvos y un vibrador adherido en la parte cónica de la tolva, el que evita zonas muertas a la entrada del tornillo de dosificación, y evita también que la sustancia se compacte, obstruyendo así el funcionamiento del tornillo.

La sustancia en seco descargada (dosificada) cae en un tanque de preparación de solución. Desde este se envía por gravedad a la zona de mezcla rápida.



**Figura 3-4.** Dosificador en seco de tipo volumétrico (2)

#### *Operación previa a la puesta en marcha*

- Llenar la tolva con la sustancia que se va a emplear hasta por lo menos el nivel mínimo.
- Durante el llenado de la tolva se debe poner en funcionamiento el equipo de recuperación de polvos.
- Verificar el funcionamiento del dosificador y vibrador.
- Verificar el funcionamiento del agitador del tanque de solución.

#### *Operación de puesta en marcha*

- Abrir las válvulas de ingreso de agua al tanque de solución y la de salida de la solución.
- Poner en funcionamiento el agitador del tanque de solución.
- Regular la dosificación de la sustancia química accionando el dispositivo de regulación "dial" a la posición deseada.
- Abrir la compuerta de descarga de la tolva.

- Poner en funcionamiento el vibrador de la tolva que contiene la sustancia química.

#### *Operación normal*

- Verificar la salida de sustancias químicas por el tornillo giratorio.
- Recargar la tolva con la sustancia química cuando sea necesario.

#### *Operación de parada*

- Accionar el interruptor del motor del dosificador a la posición de parada.
- Parar el agitador del tanque de dilución.
- Cerrar la válvula de ingreso del agua al tanque de dilución.
- Accionar el interruptor de funcionamiento del vibrador de la tolva a la posición de parada.

#### b) Dosificadores en solución por bombeo

Esta alternativa de dosificación se aplica usualmente para dosificar en solución sulfato de aluminio, cloruro férrico, polielectrolitos catiónicos y aniónicos. Se utilizan bombas dosificadoras, por lo general de tipo pistón. Estos dosificadores se caracterizan por ser muy precisos; su capacidad va desde mililitros hasta miles de litros por hora (figura 3-5).

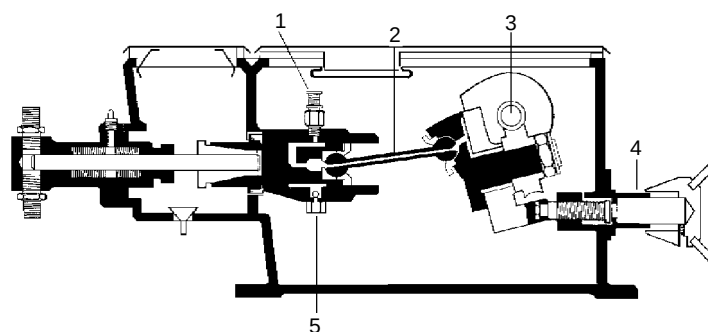
### **Operación de las bombas dosificadoras**

#### *Operaciones previas a la puesta en marcha*

- Verificar el nivel de aceite de la bomba, así como su funcionamiento.
- Verificar el estado de las líneas de succión y descarga de la bomba dosificadora para detectar posibles fugas.
- Verificar que la línea de succión se encuentre por debajo del nivel mínimo del tanque de almacenamiento o preparación de solución.

*Puesta en marcha*

- Abrir la válvula de descarga del tanque de solución que se va a utilizar. Siempre se debe disponer de dos tanques de solución por cada sustancia.
- Abrir las válvulas de las líneas de succión y descarga.
- Regular la dosificación de la solución por medio del dispositivo de regulación “dial”, con el que se obtendrá una dosificación igual a la alcanzada en el ensayo de prueba de jarras de determinación de dosis óptima.



- |                                                     |                                              |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 1. Válvula de seguridad del circuito de lubricación | 3. Eje de accionamiento con tornillo sin fin |
| 2. Sistema de arrastre lubricado a presión          | 4. Regulación micrométrica de carrera        |
| 5. Alcachofa magnética                              |                                              |

**Figura 3-5. Bomba dosificadora de pistón (3)***Operación normal*

- Poner en marcha la bomba dosificadora seleccionada.
- Realizar el aforo de la solución ( $q$ ) que se está bombeando hacia el punto de aplicación para regular la dosificación.

El cálculo de la solución ( $q$ ) se realiza por medio de la fórmula siguiente:

$$Q \times D = q \times C$$

Donde:

|     |   |                                                     |
|-----|---|-----------------------------------------------------|
| $q$ | = | caudal de la solución de la sustancia química (L/s) |
| $Q$ | = | caudal del agua cruda (L/s)                         |
| $C$ | = | concentración de la solución (mg/L)                 |
| $D$ | = | dosis de la sustancia química (mg/L)                |

- Si la solución que se está bombeando es mayor que la óptima, será necesario hacer una dilución antes del punto de aplicación. Entonces se debe abrir la válvula de agua de dilución, la que se mezclará con la solución que viene del sistema de bombeo. La dilución finalmente alcanzada debe corresponder a la concentración óptima obtenida en el ensayo de prueba de jarras.

#### *Parada del equipo de bombeo*

- En el tablero eléctrico de operación, presionar el botón “parada” de la bomba dosificadora que está funcionando.
- Cerrar la válvula de descarga del tanque que se está utilizando.
- Cerrar las válvulas de las líneas de succión y descarga de la bomba dosificadora.
- Lavar el sistema de dosificación, conectando agua a presión a la línea de succión y eliminando por la línea de descarga, a fin de evacuar completamente los sedimentos de las tuberías y de la caja de la bomba.

### **3.4 Operación de las unidades de mezcla rápida**

Las unidades de mezcla rápida más usadas en los sistemas patentados son los retromezcladores hidráulicos con dispersor de solución. También es usual utilizar la turbulencia generada por la caída de agua de los vertederos de ingreso de agua a cada una de las unidades de manto de lodos. Los retromezcladores hidráulicos son tanques de forma cuadrada o rectangular, provistos de tabiques o deflectores transversales a la dirección del flujo, los que cortan el movimiento rotacional del fluido y producen una turbulencia adicional. En este caso, la mezcla se produce aprovechando la energía cinética que trae el agua (ver figura 3-6).

El dispersor de solución se encuentra sobre la tubería de ingreso de agua al tanque. Esta tubería, por lo general, está al fondo del tanque.

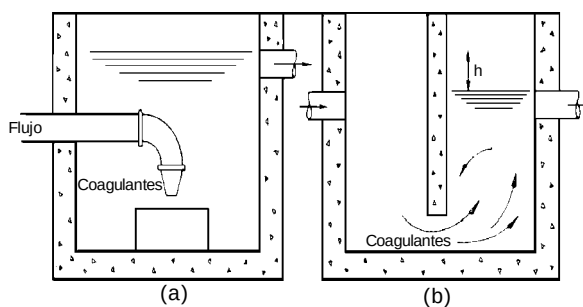
En el caso de dosificar los polielectrolitos, estos deben adicionarse en forma separada; nunca deben mezclarse los polielectrolitos con el coagulante, para lo cual es necesario utilizar otro dispositivo de dispersión de la solución. El punto de aplicación también debe ser diferente (ejemplo: vertederos de descarga a los conductos que van hacia el decantador).

### 3.4.1 Operación de las unidades de mezcla rápida hidráulicas

#### a) Retromezcladores hidráulicos y resalto después de vertedero

##### *Puesta en marcha*

- Abrir la válvula de ingreso de agua a la unidad.
- En el caudalímetro de registro de agua cruda, leer el caudal y realizar el ajuste de caudal correspondiente, abriendo o cerrando la válvula de control de ingreso de agua.



**Figura 3-6.** Retromezclador hidráulico (4)

- La medición del caudal se puede realizar, también, leyendo el nivel de agua indicado en la regla ubicada sobre el vertedero de descarga y aplicando la siguiente ecuación, que corresponde a la de un vertedero rectangular:

$$Q = K H^{3/2}$$

Donde:

- $Q$  = caudal de ingreso a la unidad, m<sup>3</sup>/s.
- $K$  = constante, que es función de las características hidráulicas del vertedero.
- $H$  = altura de agua sobre el vertedero, m.

*Operación normal*

- Verificar la descarga de la solución a través del dispositivo de distribución: dispersor, tubo difusor, etcétera.
- Verificar que la solución se esté aplicando siempre de manera uniforme en la zona de máxima turbulencia.

*Parada de la unidad*

- Cerrar la válvula o compuerta de ingreso de agua.
- Verificar que el botón de parada se encuentre encendido.
- Detener la dosificación de sustancias químicas.

**3.5 Decantadores de manto de lodos**

Las partículas en suspensión que han sido coaguladas pasan a las unidades denominadas de manto de lodos, donde, por medio del contacto entre ellas, se permite su crecimiento. Se forma así un manto de lodos; este contacto entre partículas es producido por un sistema de agitación lenta que puede ser de origen mecánico o hidráulico. Estas unidades se caracterizan por el hecho de que las partículas pueden crecer, aumentar de peso y sedimentar.

Estas unidades se clasifican en unidades de manto de lodos con suspensión hidráulica y unidades de manto de lodos con suspensión mecánica.

Las unidades de manto de lodos más usadas son las de suspensión mecánica, las cuales, a su vez, se clasifican en:

- a) decantadores de manto de lodos pulsantes;
- b) decantadores de manto de lodos de separación dinámica;
- c) decantadores de manto de lodos de agitación simple.

**3.5.1 Decantadores de manto de lodos pulsantes**

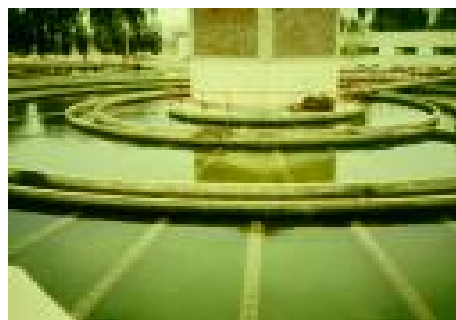
Son tanques de fondo plano provistos en la base de una serie de tuberías perforadas, lo que permite una buena distribución del agua cruda o coagulada. El

sistema de recolección del agua decantada está conformado por un conjunto de tubos perforados o canaletas. La alimentación del agua se produce en forma discontinua, por un sistema de vacío: bomba o ventilador unido a un conjunto de válvulas puestas a la atmósfera que sirven para romper el vacío de la(s) cámara(s) o campana(s) de vacío (figura 3-7).

La descarga del agua de la campana de vacío a las tuberías de distribución se produce cuando el agua alcanza un nivel de entre 0,6 y 0,80 metros. Este nivel de agua está dado por la regulación que se da a la cuerda del flotador y por medio de un relé eléctrico, que permite la apertura de las válvulas de descarga a la atmósfera, por contacto del tope de la cuerda con el balancín.



**Figura 3-8.** Decantador pulsante de sección rectangular (5)



**Figura 3-7.** Decantador de manto lodos pulsante de sección circular (5)

Las descargas de agua de la campana realizadas en forma intermitente producen una agitación en el interior del decantador que permite el contacto entre las partículas coaguladas. Aumenta así el tamaño y volumen de estas, para formar una masa de lodos llamada “manto de lodos”.

La altura que usualmente debe alcanzar el manto de lodos es de 1,5 metros, y debe coincidir con el nivel del vertedero de los concentradores de lodos. La eficiencia del decantador de lodos es función del grado de compactación del manto de lodos y del porcentaje de concentración de lodos.

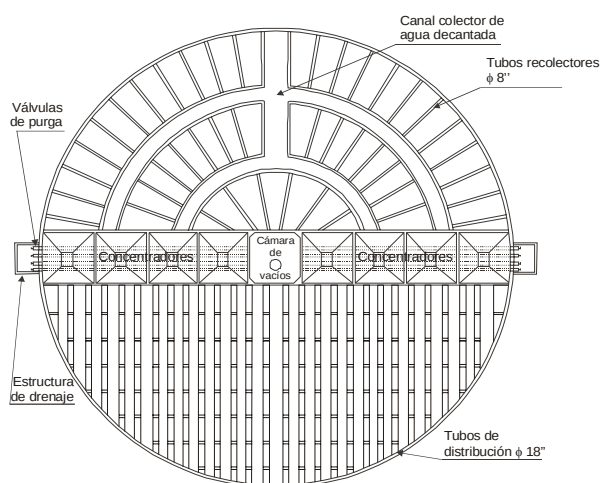
El exceso de lodos formado pasa a los concentradores de lodos, para ser eliminados por medio de las válvulas de purgas que pueden ser accionadas en forma manual o automática.



### Operación de las unidades de manto de lodos pulsantes o Pulsator

#### Actividades previas a la puesta en marcha

- Verificar que la limpieza haya sido bien efectuada, sobre todo en los concentradores de lodos, el fondo del decantador, la campana de vacío y las tuberías de distribución, a fin de evitar los taponamientos de los orificios de las tuberías de extracción de lodos y de las tuberías de vaciado.



**Figura 3-9.** Plano de fondo del decantador pulsante circular (6)

- Asegurar el buen funcionamiento del interruptor del flotador de la campana de vacío; especialmente, evitar el atascamiento y rozamiento exagerado del cable del mando del flotador.
- Verificar el funcionamiento de las válvulas de extracción de lodos.

#### Llenado con agua

- Poner en marcha los dosificadores de reactivos químicos previamente regulados.
- Abrir las válvulas o dispositivos de ingreso de agua al decantador.

### *Extracción de lodos*

- Regular el dispositivo automático de extracción de lodos en el tablero de mando a una frecuencia de un tiempo de apertura de 45 segundos cada cinco minutos.
- Abrir las válvulas manuales de extracción de lodos y regular el motor de las válvulas para obtener una apertura y un cierre rápido de las válvulas de membrana.

### *Regulación del dispositivo de mando de pulsaciones*

- Si el decantador de manto de lodos tiene dos campanas —por ende, dos sistemas de regulación de pulsaciones—, entonces se debe seleccionar uno de ellos; pero si no, trabajar con la única campana de vacío que presenta.
- La regulación de los topes del interruptor del flotador se realiza de manera que:
  - En la campana de vacío, el nivel máximo de agua en tiempo de pulsaciones debe estar a 0,70 m por encima del nivel máximo estático (figura 3-10).
  - A la puesta en servicio, la altura de expulsión deberá ser 0,60 m.
- Poner en marcha el ventilador o el dispositivo que provoque el vacío y cerrar ligeramente la válvula de aspiración en la campana (contar el número de vueltas), controlar el tiempo necesario para alcanzar el máximo nivel. Este tiempo puede ser regulado de 25 a 40 segundos por medio de la regulación de la válvula de aspiración.
- Cerrar ligeramente la válvula manual situada en el circuito de puesta a la atmósfera (contar el número de vueltas). Controlar el tiempo. El tiempo de descarga puede ser regulado para un lapso de 10-18 segundos.



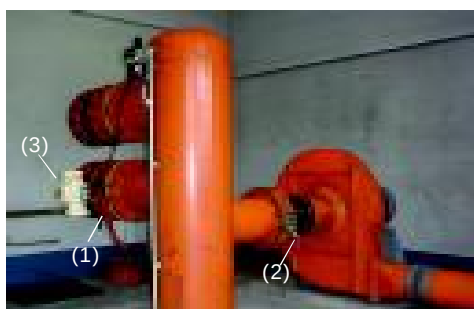
**Figura 3-10.** Sistema de flotador en campana de vacío de decantador pulsante (6)

- Después de tres horas de trabajo, se debe verificar la frecuencia de pulsaciones, cuya regulación estará en función de la concentración de lodos en la parte superior y en la parte inferior.

En el siguiente cuadro se recomienda la frecuencia de pulsaciones en función de la calidad del agua.

**Cuadro 3-1. Frecuencia de pulsaciones en función de la calidad del agua cruda**

| Parámetro            | Baja turbiedad<br>20-200 UNT | Mediana turbiedad<br>200-500 UNT | Alta turbiedad<br>500-2.000 UNT |
|----------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Tiempo de expulsión  | 12-15 s                      | 10-12 s                          | 8-10 s                          |
| Tiempo de aspiración | 20-25 s                      | 20-25 s                          | 25-30 s                         |
| Altura de expulsión  | 0,60                         | 0,60                             | 0,75                            |



- (1) Válvula de regulación de tiempo de vaciado.
- (2) Válvula de regulación de tiempo de aspiración.
- (3) Válvula de puesta en atmósfera.

**Figura 3-11.** Sistema de ventilación que genera el vacío en cámara de decantador pulsante (6)

#### *Regulación de las extracciones de lodos*

Cuando el nivel del lecho de lodos alcanza el vertedero de los concentradores:

- Poner en marcha el dispositivo de automaticidad de las extracciones de lodos y regular lo siguiente:
  - duración de extracción = 10-30 seg
  - frecuencia de extracciones = 20-30 min

- La regulación óptima es alcanzada cuando el manto de lodos está situado a 0,10 metros por encima de los vertederos de los concentradores y el nivel de lodos en estos está entre 0,20 y 0,30 metros por debajo de los mismos vertederos.

#### *Operación normal*

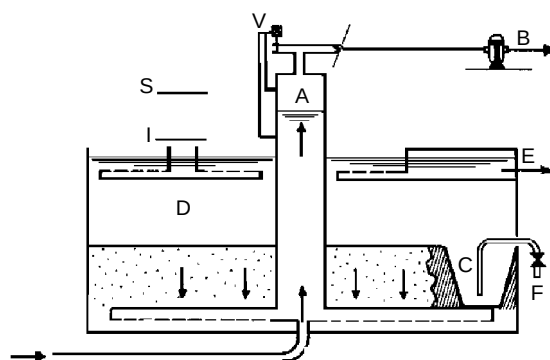
- Verificar que la frecuencia de las pulsaciones se mantenga dentro de lo regulado para la calidad de agua que se está tratando.
- Verificar el funcionamiento del sistema de evacuación de lodos y confirmar que corresponda a la calidad de agua que se está tratando.
- Determinar la concentración de lodos a diferentes alturas del manto.



**Figura 3-12.** Toma de muestra de lodos en decantador pulsante (6)

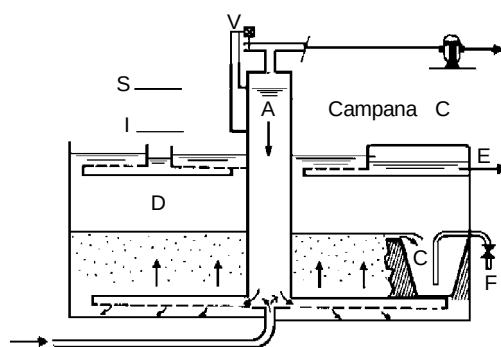
#### *Parada del decantador*

- Accionar la válvula de ingreso de agua en la posición cerrada.
- Detener la marcha de los dosificadores de reactivos químicos.
- Es preferible dejar lleno el decantador si la parada es por corto tiempo. En caso de que sea mayor de 24 horas, se debe dosificar cloro al ingreso de manera que se obtenga un residual de cloro de 5 ppm para evitar la descomposición del lodo.
- Parar el sistema de pulsación, accionando el interruptor de mando del tablero de control.
- Cerrar las válvulas de extracción de lodos, a fin de no eliminar el manto de lodos, el cual debe estar presente cuando se va a poner en marcha nuevamente el decantador.
- En caso de que la parada del decantador sea por breve tiempo, no se debe detener el sistema de pulsación a fin de mantener en operación el manto de lodos —es decir, que no se sedimente—, pero sí se deben cerrar las válvulas de extracción de lodos.



#### Primer tiempo

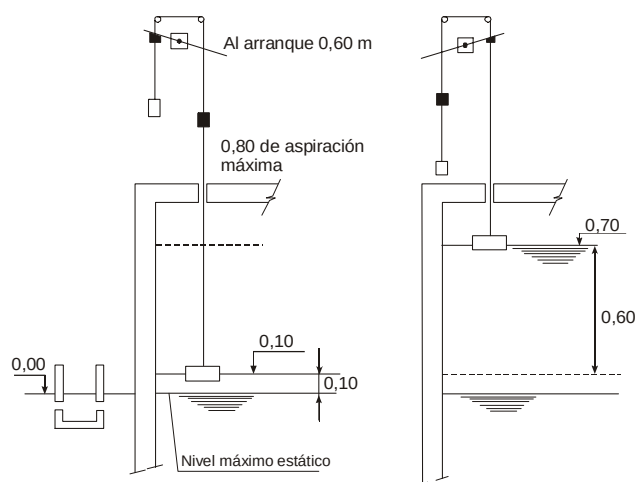
- La válvula de aire V, de comunicación de la campana con la atmósfera, se encuentra cerrada.
- El agua asciende en la campana A.
- El agua entra, a caudal reducido, en el decantador D.
- El fango se concentra en el lecho de fango y en el concentrador C.



#### Segundo tiempo

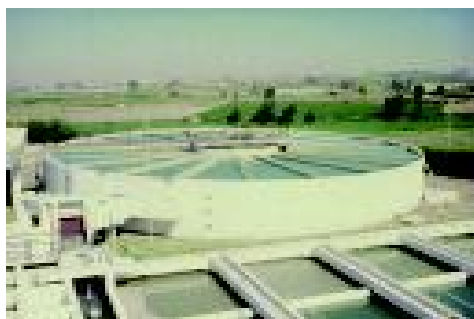
- Cuando el agua alcanza en la campana el nivel del electrodo superior S, se abre la válvula de comunicación con la atmósfera.
- El agua de la campana A penetra en el lecho de fango, consiguiendo su expansión.
- El exceso de fangos penetra en el concentrador C.
- El agua decantada es evacuada por E.
- Cuando el agua alcanza el nivel del electrodo inferior (I) en la campana A, se cierra la válvula V.
- La masa de fango es evacuada del concentrador C por la válvula de extracción automática F.

**Figura 3-13.** Decantador Pulsator. Esquema de funcionamiento (1)



**Figura 3-14.** Ajustes de los topes del interruptor a flotador (7)

### 3.5.2 Decantadores de separación dinámica

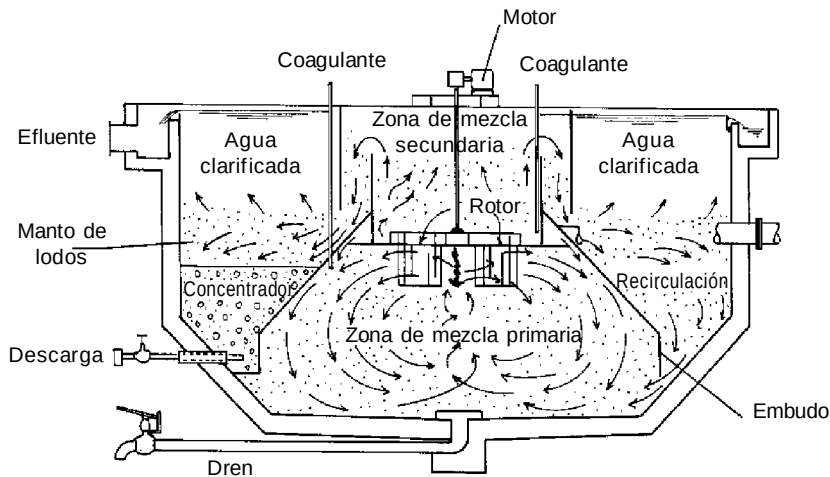


**Figura 3-15.** Unidad de separación dinámica, Accelator-Infilco Inc. (5)

Se llama así a las unidades o tanques que utilizan una turbina que gira a alta velocidad colocada en el centro del tanque, la cual impulsa el flujo hacia abajo, de forma que las partículas que descienden empujadas por la energía mecánica de la turbina choquen con las que ascienden con el flujo del tanque (ver figuras 3-15 y 3-16).

Estos tanques se caracterizan por presentar cuatro zonas: una de mezcla y reacción (mezcla primaria), otra de mezcla lenta y floculación (mezcla secundaria), otra de manto de lodos y, finalmente, una de agua clarificada, que comprende hasta las canaletas de salida.

El agua cruda es introducida dentro de la mezcla primaria y la zona de reacción, donde se junta con las sustancias químicas en presencia de sólidos formados durante reacciones previas. La presencia de estos sólidos acelera las reac-



**Figura 3-16.** Decantador de separación dinámica (7)

ciones, la mezcla primaria es llevada luego a la secundaria, donde continúa el contacto con la suspensión para luego descargar exterior e interiormente, es decir, recirculando y llevando hacia los concentradores una parte de dichos sólidos.

El agua clarificada pasa a los orificios de recolección por una tasa igual a la del agua cruda.

Los lodos se mantienen en suspensión por efecto del movimiento del barrelados, que conduce una parte de ellos hacia el centro, cerca de los sumideros de lodo. Durante este periodo, el flujo se mueve horizontalmente en el fondo del tanque sin producir disturbios en el manto de lodos.

### **Operación de los decantadores de separación dinámica**

#### *Actividades previas a la puesta en marcha*

- Verificar la correcta instalación del sistema mecánico o grupo motorreductor de la turbina y del barrido de lodos.
- Verificar que los motores, así como los reductores, hayan sido lubricados y preparados para ser operados según las especificaciones de los fabricantes.

*Llenado con agua*

- Poner en marcha los dosificadores de reactivos químicos previamente regulados.
- Abrir las válvulas o dispositivos que permiten el ingreso de agua al decantador.
- Ajustar el caudal de ingreso del agua al 50% de la capacidad de diseño inicialmente y luego completar al caudal de diseño.

*Regulación del sistema motorreductor de la turbina y barrelos*

- Ajustar la rotación aproximadamente al 75% de su máxima velocidad, arrancar o poner en marcha al mismo tiempo el barrido de fondo y ajustar al 50% de la velocidad máxima.
- Cuando el nivel de agua se encuentra más o menos a 1,80 metros sobre las paletas de la turbina, arrancar el motorreductor que acciona la turbina.
- Si los lodos sedimentan muy rápido, aumentar la velocidad del impulsor durante un corto tiempo para lograr que los lodos sedimentados vuelvan a estar en suspensión.

*Extracción de lodos*

- Verificar el funcionamiento de las válvulas de extracción de lodos.
- Establecer las condiciones óptimas de extracción de lodos; durante el periodo inicial de operación, la extracción de lodos es mínima o completamente detenida.
- Para empezar a extraer el lodo, se debe hacer un muestreo en toda la superficie de la unidad; cuando la concentración de lodo está entre 10% y 20%, se dará inicio a la extracción.
- Poner en funcionamiento el equipo automático de purga de lodos, previamente ajustado a los tiempos de intervalo y la duración de las purgas.

*Operación normal*

Una parte fundamental del proceso en este decantador es la recirculación del lodo precipitado. Esto requiere que la unidad tenga una cierta cantidad de lodo. Por esta razón:



- Durante el periodo de operación inicial la recirculación debe ser mínima o completamente detenida, lo que permite que la acumulación del lodo sea rápida y posible.
- A medida que pasa el tiempo, el material se acumula sobre el fondo de la unidad y se va formando un lecho de lodos. En este momento se debe establecer un ciclo de recirculación. El tiempo de formación del lodo en el fondo puede ser de pocas horas a semanas, dependiendo de la calidad del agua cruda y de los coagulantes adicionados.
- Determinar el porcentaje de concentración de lodos, que debe ser aproximadamente 10% en un tiempo de sedimentación de 5 minutos.
- Si el porcentaje de lodos sobrepasa el 10%, entonces se debe programar el ciclo de purgas, para lo cual es necesario abrir la válvula de descarga de lodo en forma manual o accionando el dispositivo de mando automático.

#### *Parada del decantador*

- Accionar la válvula de entrada de agua a la posición de cerrada.
- Si la parada de la unidad es por un periodo corto, no se debe parar el impulsor, pero si es por un periodo largo, se debe parar el impulsor y cerrar la válvula de descarga de lodo para evitar el vaciado de la unidad.
- Dejar lleno de agua el decantador durante el tiempo de parada.
- Si la parada del decantador es larga (mayor de 24 horas), entonces se deberá mantener un residual de cloro de 2-5 ppm para evitar la descomposición del lodo.
- Parar el sistema mecánico (turbina y barrelodos) y dejar en la misma posición la regulación del motorreductor.
- Parar los dosificadores de reactivos químicos: coagulantes, ayudantes de coagulación, etcétera.

#### *Registro de operación*

Durante la operación de la planta, se deben anotar todas las condiciones de operación, empezando por la fecha, los parámetros operacionales y los exámenes periódicos, lo que permite:

- Analizar y comparar los resultados anteriores con los actuales, a fin de realizar ajustes a nivel de operación o mantenimiento.
- Estos resultados servirán para realizar la evaluación de la operación en cada una de las condiciones.
- Todos los resultados de las pruebas deben ser registrados.

Esta recomendación es válida para cualquiera de los tipos de decantadores de manto de lodos.

### *3.5.3 Decantadores de agitación simple*

Son, por lo general, tanques circulares en los que el agua ingresa por la parte inferior. Están provistos de un agitador mecánico que gira lentamente en el fondo, movido por un motor, a fin de mantener las partículas coaguladas en suspensión y recolectar los lodos en un concentrador, del cual son removidos periódicamente. Presentan cuatro zonas: de reacción, de floculación, de recolección de lodos y de agua clarificada.

### **Operación de los decantadores con agitación simple**

#### *Actividades previas a la puesta en marcha*

- Verificar el funcionamiento del agitador mecánico y la profundidad a la que se encuentra teniendo en cuenta la altura del agua en la unidad.
- Verificar que el motor, así como el eje del agitador, hayan sido lubricados con anterioridad.

#### *Llenado con agua*

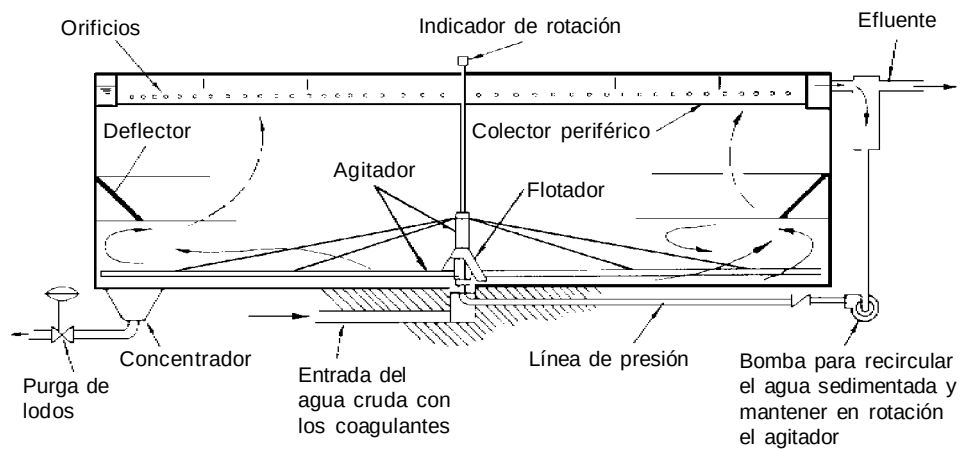
- Poner en marcha los dosificadores de sustancias químicas.
- Abrir las válvulas de ingreso de agua.
- Ajustar el caudal de ingreso de agua con el que se debe trabajar inicialmente.

### Regulación de la velocidad de agitación o floculación

- Ajustar la rotación del agitador a la velocidad óptima de rotación, teniendo en cuenta la turbiedad del agua cruda y el reactivo químico utilizado.
- Cuando el nivel de agua se encuentra sobre las paletas del agitador, ponerlo en marcha accionando el dispositivo de arranque del motor.
- Cuando se presentan en la superficie del decantador grandes cantidades de flóculos, se debe disminuir la velocidad de agitación.
- La agitación debe ser de tal modo que no se produzca la resuspensión de las partículas y que el exceso de lodo, formado en el fondo del decantador, caiga siempre en los concentradores.

### Extracción de lodos

- Verificar el funcionamiento de las válvulas de extracción de lodos.
- Según la turbiedad del agua cruda y la concentración de lodos en el fondo del decantador, se abren las válvulas de purgas.



**Figura 3-17.** Decantador de manto de lodos de agitación simple (7)

### Parada del decantador

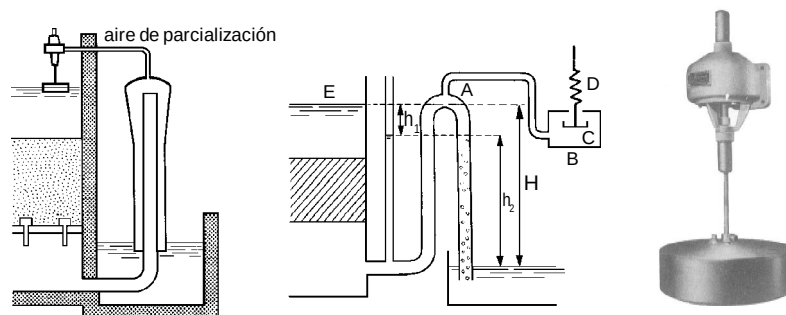
- Cerrar la válvula de ingreso de agua cruda.
- Poner fuera de servicio los dosificadores de reactivos químicos.
- Parar el agitador accionando el dispositivo de parada del motor.
- Poner fuera de servicio los sistemas de extracción de lodos.

### 3.6 Unidad de filtración

El agua clarificada proveniente de las unidades de decantación de manto de lodos pasa a las unidades de filtración, donde las partículas (flóculos) que no fueron retenidas en los decantadores serán removidas al pasar por el medio filtrante.

Los filtros de los sistemas patentados se caracterizan principalmente por:

- Presentar un lecho filtrante único de arena de diámetro uniforme, una expansión baja o nula durante el retrolavado.
- Son filtros descendentes de tasa y nivel constante.
- El lavado se realiza por la utilización de hasta tres fluidos: aire comprimido, agua filtrada y agua decantada.
- El agua por filtrar es repartida en forma equitativa a todo el conjunto de unidades de filtración.



**Figura 3-18.** Dispositivo de regulación, caja de parcialización y sifón (1)

- La velocidad de filtración constante en cada filtro es obtenida por medio de un dispositivo de regulación que puede ser:
  - Válvula electroneumática y *rack* electrónico ubicados aguas abajo del filtro.
  - Caja parcializadora-sifón concéntrico, ubicados dentro de la caja del filtro y aguas abajo del filtro.

En cada uno de estos casos es necesario conocer el principio de funcionamiento de los dispositivos de regulación:

#### *Dispositivo sifón-caja parcializadora*

La caja de parcialización es un sistema de detección y mando que regula el caudal de aire introducido en la parte superior del sifón. Esta caja está formada por el flotador y el sistema detector, los que se ubican en la superficie de agua dentro de la caja del filtro.

#### *Sifón*

Constituido por dos tubos concéntricos, donde el agua circula desde el tubo interior hacia el exterior, y se encuentra en la tubería de salida de agua filtrada.

### **Operación de los filtros de tecnología importada**

#### *Descripción del proceso de regulación*

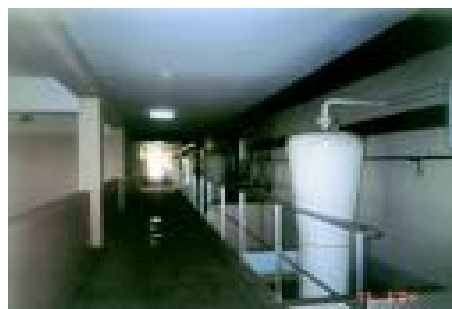
El conjunto sifón-caja parcializadora está unido por medio de un tubo de admisión de aire ubicado en la parte superior del sifón. Es por esta admisión de aire y cambio de presión que la acción de sifonaje es parcial o nula, con lo cual la variación de caudal es más o menos grande.

Esta entrada de aire está comandada automáticamente por la caja de parcialización (figuras 3-18 y 3-19), en la cual el flotador detecta el nivel de agua que se debe mantener constante sobre el filtro y deja entrar una cantidad de aire en función de ese nivel.

Si el nivel de agua sobre el filtro se eleva, bien sea porque el filtro está sucio o porque el caudal de la planta se incrementa, la caja de parcialización tiende a

cerrarse, entra solo una pequeña cantidad de aire dentro del sifón y se produce un incremento en la evacuación del caudal de agua filtrada. Si el nivel de agua disminuye, entonces el proceso es a la inversa. El sifón tiene un vacuómetro colocado en el cuello del sifón que indica la pérdida de carga del filtro.

*Dispositivo de regulación válvula mariposa electroneumática y rack electrónico*



**Figura 3-19.** Galería de tubos con regulación mediante caja parcializadora y sifón (5)

El regulador válvula electroneumática y el *rack* de control están destinados a mantener el nivel de agua constante sobre la arena; sin regulación, este nivel es muy variable en función del grado de colmatación del filtro y de las modificaciones del caudal.

El rol de la regulación es crear, con la ayuda de una válvula mariposa, una pérdida de carga auxiliar que es grande cuando el filtro está limpio, en tanto que el caudal de entrada es normal. Esta pérdida de carga disminuye a medida que el filtro se ensucia o el caudal aumenta bruscamente.

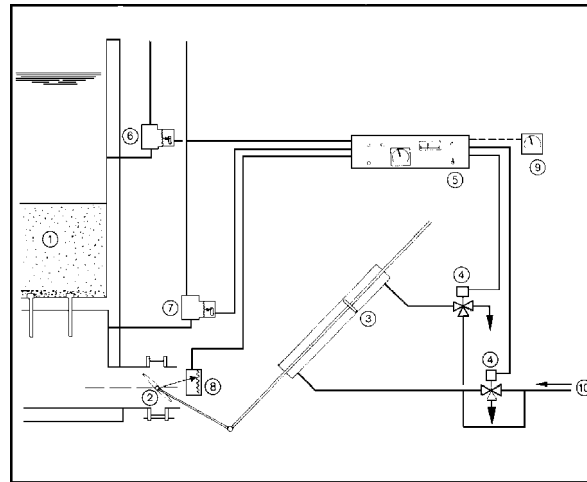
La pérdida de carga global del sistema filtro-válvula es mantenido constante por la regulación.

### **Descripción del proceso de regulación**

En la figura 3-20 se aprecia el conjunto de dispositivos de control, que comprende:

*Un dispositivo de mando.* Constituido por una válvula de regulación (3) de accionamiento neumático, a través de dos electroválvulas (4) que alimentan de aire comprimido al tornillo de la válvula (3).

*Un dispositivo de medición.* Constituido por un captador de presión (6) tipo RN que mide el nivel del agua en el filtro.



- |                                                                         |                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1. Lecho filtrante.                                                     | 6. Captador de presión o piezómetro que mide el nivel del filtro. |
| 2. Válvula de salida de agua filtrada.                                  | 7. Captador de presión bajo el falso fondo.                       |
| 3. Tornillo de accionamiento de la válvula.                             | 8. Potenciómetro colocado en el eje de la válvula.                |
| 4. Electroválvula de accionamiento del fluido que alimenta al tornillo. | 9. Indicador eventual de atascamiento.                            |
| 5. Regulador Degremont.                                                 | 10. Alimentación del fluido que acciona el tornillo.              |

**Figura 3-20.** Esquema de regulación electrónica de un filtro (1)

Este captador de presión mide las alturas de agua hasta 50 centímetros. Está alimentado por el rack de regulación y la señal de medida generada por el captador es recibida por el rack de regulación (5).

Un rack electrónico (5), que asegura el funcionamiento del regulador. Comprende lo siguiente:

- Medida de colmatación o suciedad;
- alarma de colmatado;
- arranque lento después de una parada.

#### *Funcionamiento del regulador*

El rack, para su funcionamiento, recibe tres informaciones:

- N: medida del nivel de agua sobre el filtro.

- C: consigna de nivel de agua sobre el filtro, referido al nivel de agua donde uno desea que el filtro se estabilice.
- R: posición de la válvula.

La válvula mariposa de agua filtrada sirve de elemento de regulación, comandada para medir el nivel de agua sobre el filtro, efectuado por un captador de presión (6), dado que el regulador (5) da una información proporcional a su altura de inmersión. Esta información es comparada con el valor de consigna, materializando el nivel constante que se desea mantener sobre el filtro. Todo desequilibrio entre la medida y la consigna superior al límite de sensibilidad fijado al sistema aproximadamente en  $\pm 2$  centímetros es detectado por el regulador, el que da una orden de acción sobre una de las electroválvulas (4) ubicadas en el eje de comando de la válvula mariposa, lo que permite su apertura o cierre parcial.

El rack regulador (5) puede llevar, igualmente, un indicador de colmatación, y es medido por un captador de membrana. El indicador puede ser equipado por una alarma en caso de disminución del valor de colmatación máximo, susceptible de estar fijado de antemano. Igualmente, puede llevar un arranque progresivo en el tiempo deseado después del lavado.

El regulador eléctrico permite controlar globalmente el funcionamiento de toda la batería filtrante.

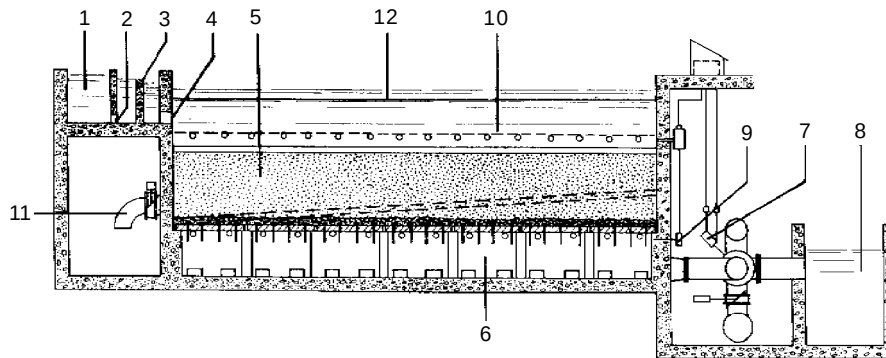
#### *Puesta en marcha*

La puesta en marcha de los filtros comprende las actividades que se realizan en un filtro recién lavado y/o en un filtro nuevo (figuras 3-21 y 3-22).

- a) Puesta en marcha de un filtro recién lavado. Comprende:
- Verificar que las válvulas de drenaje (10) y de filtración (11) estén cerradas para evitar la salida del agua.
  - Verificar la calibración del dispositivo de regulación de caudal (figuras 3-18 y 3-20). El rango de operación debe ajustarse a la tasa de filtración.
  - Verificar que la cantidad de agua después del lavado cubra el lecho filtrante.



- Cuando el nivel de agua en el filtro se encuentre a un metro por encima de la arena, colocar la perilla del selector en posición de filtración.
- Tomar la lectura de la pérdida de carga con que se inicia la operación en el panel de la consola.

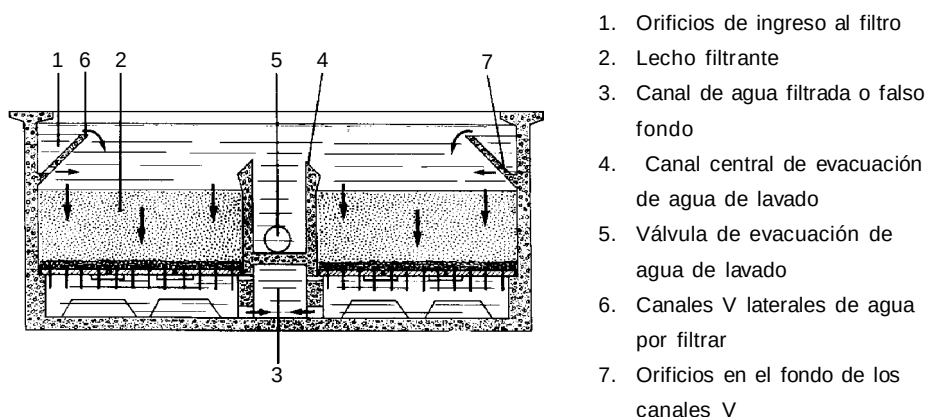


- |                                             |                                                   |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 1. Canal de conducción de agua para filtrar | 8. Canal general de agua filtrada                 |
| 2. Diafragma                                | 9. Sistema de control de nivel                    |
| 3. Vertedero                                | 10. Canal central de evacuación de agua de lavado |
| 4. Orificios de ingreso al filtro           | 11. Válvula de evacuación de agua de lavado       |
| 5. Lecho filtrante                          | 12. Canales V laterales de agua por filtrar       |
| 6. Canal de agua filtrada o falso fondo     |                                                   |
| 7. Órgano de regulación                     |                                                   |

**Figura 3-21.** Sección longitudinal del filtro Aquazur tipo V, fase de filtración (1)

b) Puesta en marcha de un filtro nuevo

- Verificar que las toberas o boquillas ubicadas en el falso fondo (losetas prefabricadas) se encuentren bien colocadas en las roscas.
- Colocar en forma uniforme la grava previamente seleccionada, en los diámetros y altura establecidos.
- Colocar la arena tamizada con el diámetro de diseño, distribuido en forma uniforme sobre la grava. Luego verificar la altura del lecho, introduciendo una regla graduada en sus diferentes puntos, a fin de verificar que los niveles sean iguales.



**Figura 3-22.** Corte transversal del filtro Aquazur V (1)

- b.1) Para el caso de las plantas que presentan un dispositivo de regulación de válvula electroneumática y rack electrónico:
- Verificar que los piezómetros de pérdida de carga y de nivel del agua en el filtro se encuentren instalados a las alturas de diseño; es decir, a 2,50 m y 0,25 m debajo del nivel del agua.
  - Verificar el estado de operatividad de la válvula de regulación de filtración en forma manual, presionando las electroválvulas de comando ubicadas en la parte externa del cilindro del eje de la válvula.
  - Verificar si la alimentación de aire a las electroválvulas de comando es continua.
  - Inicialmente, llenar el filtro con flujo ascendente utilizando las bombas de lavado, hasta que el agua cubra el lecho filtrante y luego empezar a abrir las compuertas de ingreso de agua decantada al filtro. Este ingreso se realiza a través de las canaletas laterales (2) (figura 3-21). A fin de calibrar los medidores de presión y de pérdida de carga, debe mantenerse cerrada la válvula de filtración.
  - Realizar el ajuste del cero del medidor de presión, para lo cual se cierra la válvula de aislamiento (6) (figura 3-18), llevar el nivel de agua al eje de referencia, sobre el tapón y por medio de un voltímetro se hace el ajuste

llevando de 100 a 300 mv, y en el rack de control se realiza el ajuste correspondiente.

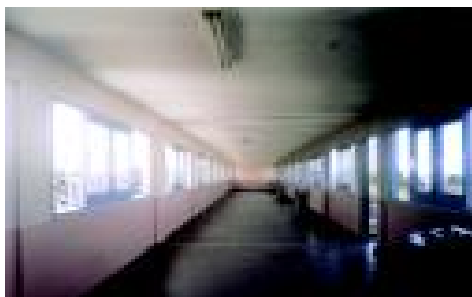
b.2) Para el caso de una planta con dispositivo de regulación caja parcializadora-sifón concéntrico:

- Calibrar la altura del eje del flotador (figura 3-18) ubicado dentro de la caja del filtro; para realizar esta operación es necesario llenar el filtro, introduciendo inicialmente agua por el fondo, por medio de las bombas de agua de lavado, hasta cubrir el lecho y abriendo las compuertas batientes.
- Medir el nivel de agua sobre el lecho filtrante, que debe ser un metro, manteniendo la válvula de filtración cerrada.
- Sobre ese nivel fijar el centro del flotador, accionando hacia arriba o abajo el eje del flotador-caja parcializadora y fijándolo por medio de los topes que se encuentran en el mismo eje.
- Luego proceder a la puesta en marcha.

### 3.6.1 Operación de filtración

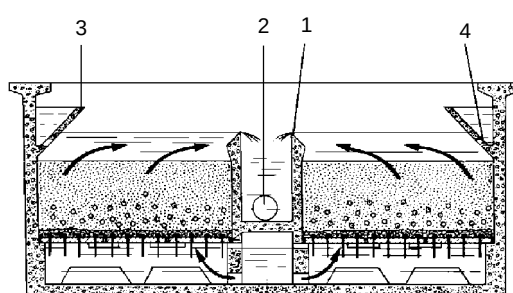
Comprende las diferentes actividades que el operador realiza cuando el filtro, después del lavado, se pone en marcha. Las operaciones que se realizan en ambas plantas son las mismas:

- Leer los valores de las pérdidas de carga en el panel del tablero y en el piezómetro cada hora.
- Verificar en el panel de la consola de mando la posición deseada de las válvulas para la buena marcha del proceso.
- Tomar muestras de agua filtrada de cada unidad y ver la turbiedad inicial, y luego tomar muestras horarias.



**Figura 3-23.** Sala de operación de los filtros de tecnología importada (5)

- Verificar el nivel de agua sobre el lecho para el que fue calibrado el dispositivo de regulación, midiendo a través de una regla graduada.
- Determinar la carrera de filtración de cada filtro tomando el tiempo de operación desde la puesta en marcha hasta el tiempo que alcanza la pérdida de carga máxima de lavado.



1. Canal central de evacuación de agua de lavado
2. Válvula de evacuación de agua de lavado
3. Canales V laterales de agua por filtrar
4. Orificios en el fondo de los canales V

**Figura 3-24.** Filtro de patente importada durante el lavado (1)

### 3.6.2 Operación de lavado

El lavado de los filtros patentados se realiza con aire-agua en sentido contrario al flujo, para lo cual se necesitan los siguientes equipos:

- bombas de agua de lavado;
- compresor de aire.

El lavado de los filtros se realiza cuando el dispositivo de control de pérdida de carga alcanza el valor máximo de pérdida de carga establecido en el filtro.

El agua utilizada en el lavado generalmente proviene de la cámara de agua filtrada. Durante el lavado se observa que la expansión del medio filtrante es mínima, ya que estos filtros no están diseñados para que el medio filtrante se expanda.

Durante el lavado del filtro con aire y agua mediante la inyección de aire, se produce la fricción entre los granos con el fin de remover las partículas adheridas

a este, y con ayuda del agua se elimina el material desprendido. El lavado de los filtros se realiza en forma manual o automática. A continuación describiremos los diferentes pasos del lavado, utilizando las figuras 3-20, 3-21, 3-24 y 3-27.

### Lavado de los filtros

La operación de lavado de estos filtros se puede realizar en forma manual y automática. Los procedimientos de lavado son los siguientes:

- Con la llave del conmutador de la consola de mando, se selecciona la posición de lavado.
- En el panel, observar que la válvula de filtración se cierre.



**Figura 3-25.** Filtro de tecnología importada durante el lavado (5)

*Lavado paso a paso o manual.* Se continúa con los siguientes procedimientos para terminar el lavado:



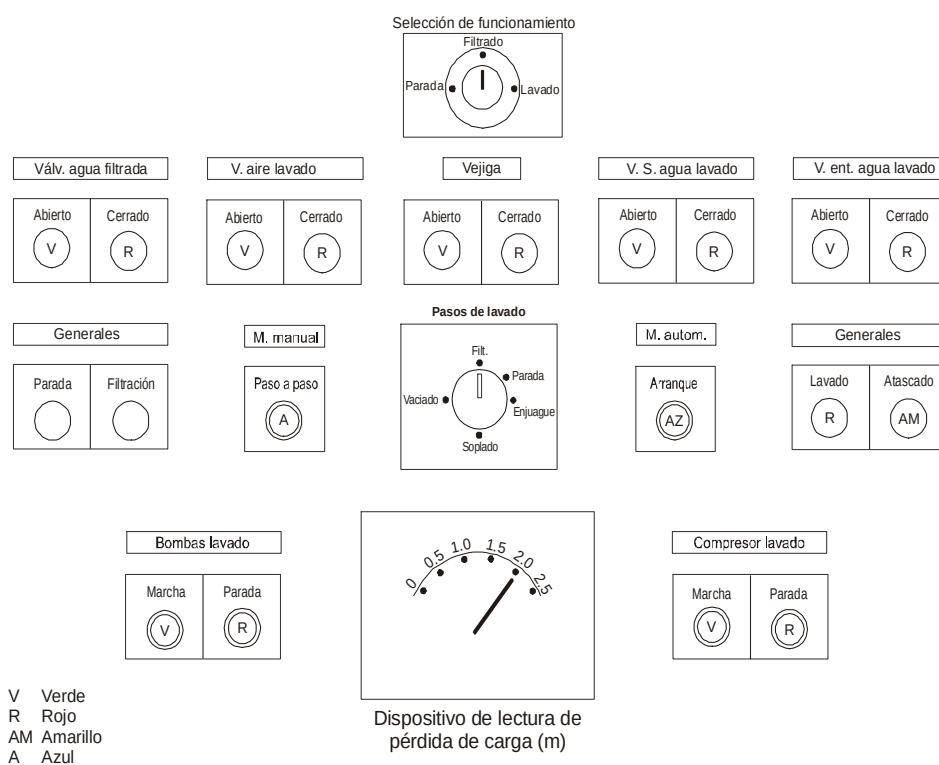
**Figura 3-26.** Consola de mando o pupitre de operación de los filtros (5)

- Cuando la válvula de filtración se haya cerrado, abrir la válvula de vaciado accionando el botón pulsador de marcha manual. El nivel de agua baja hasta el nivel del vertedero de la canaleta de recolección de agua (figura 3-21).
- Pasar a la posición de soplado o de inyección de aire y poner en marcha los compresores durante un minuto y luego las dos bombas de lavado de agua.
- Después de siete minutos de inyección de aire, parar los compresores de aire presionando el botón pulsador y luego el botón de parada del compresor.

- Continuar con el enjuague por aproximadamente 8 minutos o hasta que el agua en el filtro quede clara.
- Parar las bombas de lavado, y con el botón pulsador pasar a parada. En ese momento se cierra la válvula de vaciado y comienza a llenarse el filtro.
- Con la llave del conmutador en el selector de funcionamiento, poner en posición de filtración. Luego verificar que la válvula de filtración quede abierta.



**Figura 3-27.** Sala de operación de una planta de patente importada (5)



**Figura 3-28.** Panel de operación del filtro (7)

*Nota:* El tiempo de aplicación de aire y agua puede variar según las recomendaciones de los proveedores de esta tecnología.

*Lavado automático.* En la consola de control, colocar el conmutador en la posición automática y luego, presionando el botón pulsador de inicialización, se da inicio al lavado. Al final del lavado, colocar en posición de filtración por medio de la llave del selector de funcionamiento.

## REFERENCIAS

- (1) Degremont. *Manual técnico del agua*. Cuarta edición. Buenos Aires, Degremont, 1979.
- (2) Vargas, Oscar J. *Operación normal de plantas de tratamiento de agua*. Lima, CEPIS, 1983.
- (3) Arboleda, J.; Correal, H.; Vargas, F. *Manual de tratamiento de aguas potables*. Caracas, s. d., 1969.
- (4) Arboleda, J. *Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua*. Lima, CEPIS, 1973.
- (5) Canepa de Vargas, Lidia. Estudios y fotos de archivos personales. Lima, CEPIS, 2005.
- (6) Maldonado Yactayo, V. Estudios y fotos de archivos personales. Lima, FIA-UNI, 2005.
- (7) Programa Regional HPE/CEPIS/OPS de Mejoramiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. *Manual IV. Operación*, tomo III. *Tecnología importada*. Lima, CEPIS, 1992.