

CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN DE PLANTAS DE TECNOLOGÍA IMPORTADA

1. INTRODUCCIÓN

La evaluación de una planta de tratamiento de agua es una actividad muy importante que debe realizarse con cierta frecuencia, ya que permite determinar la eficiencia y características de las unidades, así como la flexibilidad del sistema a los cambios de calidad del agua cruda. Como resultado de la evaluación, será posible, además, identificar las deficiencias existentes, que pueden ser de mantenimiento, operacionales y de diseño; por ejemplo, deficiencias hidráulicas que ocasionan una mala distribución del flujo, lo que afectará a las variables hidráulicas como el tiempo de retención, las pérdidas de carga, etcétera.

Las medidas de corrección que se tomen a partir de la evaluación permitirán incrementar la capacidad operacional, lo que repercutirá en una mejor calidad final de agua y reducirá los costos de operación.

2. OBJETIVO

El objetivo de esta evaluación es determinar los parámetros y variables más importantes que intervienen en los procesos de tratamiento de agua, teniendo en cuenta la calidad del agua cruda, las sustancias químicas que se utilizan y los recursos humanos y materiales para la operación y el mantenimiento.

En una planta de filtración rápida de tipo patentado, los procesos que intervienen son la coagulación, la clarificación en decantadores de contacto de sólidos, la filtración rápida y la desinfección.

3. EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE COAGULACIÓN

La eficiencia de todo el proceso de tratamiento de agua es secuencial; es decir, si no hay una buena coagulación, el proceso de decantación no será satisfactorio y, por ende, tampoco lo serán ni el de filtración ni el de desinfección.

Dentro de este proceso las variables más importantes que se deben tener en cuenta para la evaluación son:

Dosificación de sustancias químicas, lo que comprende evaluar:

- selección de sustancias químicas;
- manejo y almacenamiento de sustancias químicas;
- determinación de la dosis óptima.

Mezcla rápida, lo que comprende la determinación de:

- tiempo real de retención;
- intensidad de mezcla rápida.

Los procedimientos de los ensayos que corresponden a cada uno de estos aspectos se encuentran descritos en *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría*, tomo II, capítulo 11.

3.1 Evaluación de los decantadores de contacto de sólidos

En las unidades de decantación del tipo de contacto de sólidos normalmente se producen la floculación y la sedimentación del agua coagulada y, en algunos casos, también se incluye la mezcla rápida.

En estas unidades normalmente el agua coagulada ingresa por la parte inferior de la unidad y se recolecta por la parte superior. Al paso por la unidad, el agua está sometida a agitación interna que puede ser de origen mecánico o hidráulico. Esta agitación permite el contacto entre las partículas coaguladas; se forman así partículas de mayor tamaño. La agitación es continua mientras la unidad está en funcionamiento, lo que hace que las partículas no solo aumenten de tamaño, sino que se forme lo que se llama un manto de lodos, que actúa como un medio filtrante que favorece la floculación y la posterior decantación. Los parámetros de control operacional utilizados para mantener en suspensión este manto están principalmente relacionados con el grado de agitación que se le da al agua, las sustancias químicas utilizadas en la coagulación y la calidad de agua cruda.

Las unidades de decantación de contacto de sólidos más usadas son las siguientes:

- decantadores de manto de lodos pulsantes;
- decantadores de manto de lodos de separación dinámica;
- decantadores de manto de lodos de agitación simple.

A continuación se describen los diferentes ensayos que deben realizarse en los decantadores a fin de evaluar la coagulación y clarificación del agua.

3.1.1 Decantador de manto de lodos pulsante

La evaluación de un decantador de este tipo se efectúa por medio de los siguientes ensayos:

Dosificación de sustancias químicas

a) Objetivo

Determinar la dosis óptima de sustancias químicas (coagulantes, ayudantes de coagulación, modificadores de pH, etcétera) frente a las variaciones de la calidad del agua cruda a fin de obtener la máxima eficiencia de remoción de los parámetros problema en el agua.

b) Materiales

Para la determinación de este ensayo, se necesita el equipo de prueba de jarras completa. Ver *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría*, tomo 2, capítulo 11, “Criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades”.

c) Procedimiento

Ver *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría*, tomo 2, capítulo 11, “Criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades”.

d) Interpretación de resultados

El parámetro indicador de la buena dosificación de las sustancias químicas es la turbiedad y/o el color del agua decantada; de este modo, si la dosificación de

sustancias químicas fue la correcta, entonces la turbiedad y/o el color tiene un valor bajo. Esto no descarta que la baja calidad del agua producida en estas unidades se deba a problemas de operación del mecanismo para mantener el manto de lodos en suspensión.

Bajo condiciones de una buena dosificación de sustancias químicas y considerando que los otros parámetros de operación son los adecuados, es de esperarse que en la superficie del decantador se vea un agua clara sin partículas en suspensión. Si, por el contrario, se observa en la superficie gran cantidad de partículas suspendidas significa que la dosificación no es la adecuada, lo que estaría produciendo la resuspensión de las partículas.

Porcentaje de concentración volumétrica de lodos

El ensayo de concentración de lodos es muy importante en este tipo de unidades y se debe realizar por lo menos cada ocho horas o cuando se produzca una modificación en la turbiedad del agua cruda, un cambio en las sustancias químicas utilizadas para la coagulación o en la frecuencia de pulsaciones.

a) Objetivo

Este ensayo tiene por finalidad regular la frecuencia de pulsaciones y/o altura de expulsión, en función de la concentración de lodos en la parte baja y en la parte alta del manto de lodos.

b) Procedimiento

Si el porcentaje de lodos es menor en la parte baja del manto de lodos, superior en 10% al de la parte alta, entonces se debe aumentar la frecuencia de pulsaciones por medio de la reducción del tiempo de expulsión en cinco segundos. Si a pesar de esto aún se mantiene un porcentaje mayor de 10%, entonces se reducirá el tiempo de aspiración en cinco segundos.

Si el porcentaje de lodos es más elevado en la parte superior del manto de lodos, puede ser que la frecuencia de pulsaciones sea muy rápida o la altura de caída demasiado grande, por lo que se deberá reducir la altura de caída en cinco centímetros, y si esto todavía es insuficiente, entonces hay que aumentar el tiempo de aspiración hasta un máximo de quince segundos.

Si esto sigue siendo insuficiente, entonces se debe evaluar el tratamiento en conjunto (insuficiencia de coagulante, variación en la calidad de agua cruda, variación de caudal, etcétera).

El rango de porcentaje de lodos que se debe tolerar es de 8-10% en la parte baja con relación a la parte alta; el porcentaje de lodos en la parte alta debe ser siempre más bajo que en la parte inferior.

Estas regulaciones son válidas cuando el Pulsator trabaja con su caudal de diseño; en caso de que el caudal sea inferior, entonces hay que asegurarse de que el caudal de aspiración por el ventilador sea inferior al caudal de entrada de agua cruda.

Para evitar que se aspiren lodos durante el llenado de la campana por las ramificaciones inferiores del Pulsator, se regulará la válvula de aspiración del ventilador.

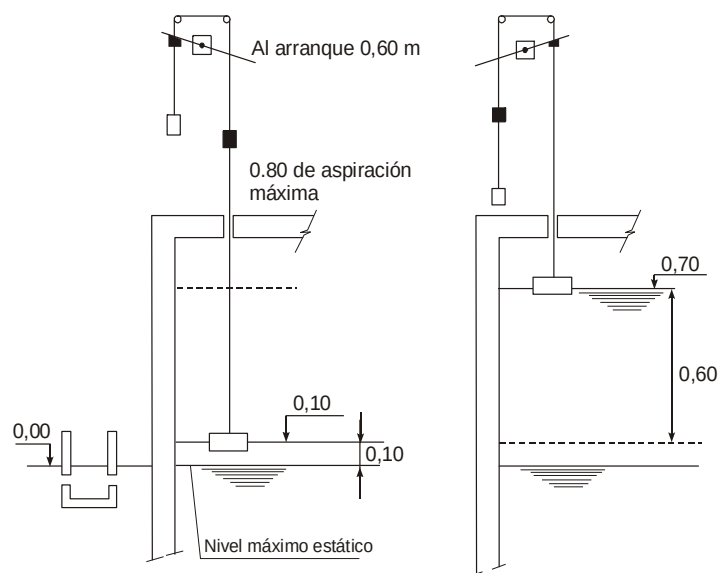


Figura 4-1. Ajustes de los topes del interruptor del flotador (1)

Considerando que estas unidades son mecanizadas y que su eficiencia depende de garantizar el funcionamiento constante de las pulsaciones, es pertinente en estas unidades evaluar el funcionamiento de las pulsaciones y para ello:

- Se debe evaluar constantemente el ventilador o la bomba de vacío, verificando si ha recibido el mantenimiento oportuno de acuerdo con las especificaciones del fabricante.
- Se debe hacer mantenimiento del interruptor del flotador (balancín eléctrico).
- Se requiere verificar el buen funcionamiento de las válvulas automáticas de descarga de la campana de vacío.

A continuación se presenta un cuadro de frecuencia de pulsaciones para cada tipo de agua cruda, en términos de turbiedad del agua cruda.

Cuadro 4-1. Frecuencia de pulsaciones de acuerdo con la calidad del agua cruda (1)

Parámetro	Baja turbiedad (20-200 UNT)	Mediana turbiedad (200-500 UNT)	Alta turbiedad (500-2.000 UNT)
Tiempo de expulsión, s	12 - 15	10 - 12	8 - 10
Tiempo de aspiración, s	20 - 25	20 - 25	25 - 30
Altura de expulsión, m	0,60	0,60	0,75

c) Materiales

Para la determinación de este ensayo, se necesita:

- Extractor de lodos de 250 mL de capacidad, provisto de un cordel de aproximadamente 5 m.
- 4 jarras de vidrio de 1.000 mL.
- 4 probetas graduadas de 250 mL.

d) Procedimiento

La prueba de concentración de lodos se realiza directamente en los decantadores y consiste en lo siguiente:

- Extraer muestras en diferentes lugares y a diferentes alturas del manto de lodos, en volúmenes de 250 mL. Las muestras se tomarán con un extractor de profundidad que tenga una cuerda graduada para las diferentes alturas del manto de lodos; por lo general, la altura total del manto de lodos es de 1,50 m y se recomienda tomar muestras cada 50 cm.
- Las muestras extraídas son vertidas en probetas de 250 mL en forma rápida, de modo que la concentración sea la misma.
- Homogeneizar la muestra de la probeta, cerrando con la palma de la mano e invirtiendo sucesivamente la probeta de abajo hacia arriba, y luego moviendo en forma circular por lo menos 10 veces.
- Dejar sedimentar por 5 minutos y leer el volumen de lodos depositados.
- El porcentaje en volumen de lodos será igual a:
- $\% = \text{mL de lodos depositados} \times 0,4$

e) Interpretación de resultados

Para interpretar los resultados, se deben comparar los resultados de porcentaje de concentración de lodos de los diferentes lugares y profundidad del manto de lodos de la unidad. Estos porcentajes deben estar dentro de los límites anteriormente indicados. Estos ensayos deben realizarse para las diferentes sustancias químicas utilizadas en la coagulación y para las distintas turbiedades de agua cruda que se presenten; asimismo, cada vez que se realizan cambios en la frecuencia de las pulsaciones.

Extracción o purga de lodos

La frecuencia de extracción de lodos es función de la concentración de estos en el manto de lodos, del caudal de tratamiento y de la turbiedad del agua cruda. El manto de lodos debe mantenerse dentro del rango de porcentaje de concentración de lodos permisible tanto en la parte inferior como en la parte superior y debe evitarse la resuspensión de las partículas sedimentadas por exceso de lodos.

a) Objetivos

Determinar la frecuencia óptima y los tiempos de extracción de lodos en la unidad.

b) Dispositivos de extracción de lodos

La extracción de lodos se realiza a través de válvulas de descarga (figura 4-2).

c) Procedimiento

- Medir la altura de lodo en el concentrador, que debe encontrarse lleno en un 75%. De lo contrario, se corre el riesgo de eliminar el manto de lodos.
- Los tiempos de apertura deben ser tales que los lodos evacuados tengan una concentración lo más elevada posible.

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 ni-

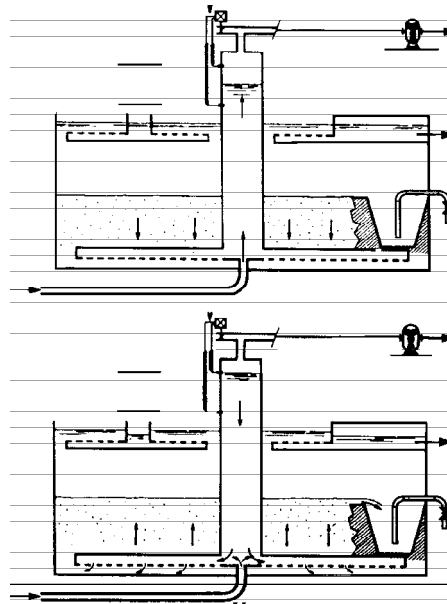


Figura 4-2. Decantador Pulsator (esquema de funcionamiento) (1)

vel 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, que se eleva con el agua.
- El exceso de fango penetra en el concentrador *C*.
- 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*.
- Si en lugar de lodo se descarga agua clara, entonces se deben cerrar las válvulas del sistema de extracción.
- Según el caudal tratado y la calidad del agua cruda, las extracciones deben ser reguladas, teniendo en cuenta el nivel del manto de lodos.
- Si el nivel sube lentamente por encima de los concentradores, se debe aumentar la frecuencia de extracción y, si es necesario, los tiempos de descarga; pero si la elevación es muy rápida, entonces se deben aumentar simultáneamente los tiempos de descarga y la frecuencia de extracciones.
- En general, la regulación de las extracciones de lodo se modifica en las siguientes circunstancias:
 - Cuando la turbiedad o el tipo de reactivos adicionados varían notablemente.
 - Cuando el caudal de agua cruda varía y se desea limitarse al valor mínimo de pérdidas de agua. Las extracciones se pueden regular en forma proporcional al caudal de agua cruda.

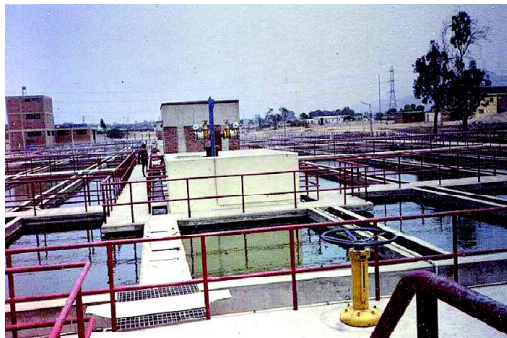


Figura 4-3. Decantador de manto de lodos del tipo Pulsator (2)

Determinación del coeficiente de cohesión de lodos (*K*)

a) Objetivo

Determinar el grado de compactación del manto de lodos a través del coeficiente de cohesión.

b) Fundamento

Un manto de lodos de compactación normal está formado por flóculos de tamaño y peso que permiten, durante la expansión, que las partículas que lo constituyen se encuentren cerca unas de otras y que la fuerza de gravitación sea suficiente para mantener la cohesión. Esto hace que el lodo se comporte como un resorte y tienda a comprimirse bajo la acción de la gravedad y se estire por acción de las fuerzas de rozamiento del agua sobre las partículas de lodo. Este resorte puede romperse cuando se estira demasiado, ya sea porque la concentración de lodos es insuficiente (el espacio entre partículas es demasiado grande) o porque la frecuencia de pulsaciones es muy rápida.

Un flóculo bien formado constituye un manto de lodos resistente a los cambios y a la variación de pulsaciones. Se debe evaluar hasta qué porcentaje de incremento de caudal el manto de lodos presentará una compactación uniforme y sobre todo si es resistente a cambios de pulsaciones que pueden darse por la calidad del agua cruda (cuando la turbiedad y/o el color aumenta).

El grado de compactación está dado por el valor que adquiere el coeficiente de cohesión de lodo (K).

c) Materiales

- Muestreador de lodos.
- Decantador piloto, formado por una probeta y un pequeño embudo de tubo largo de 3 milímetros de diámetro.
- 2 jarras de 2 litros.
- Termómetro.
- 6 vasitos de 100 mL de volumen.
- Cronómetro.

d) Procedimiento

- Tomar una muestra de lodos del decantador.

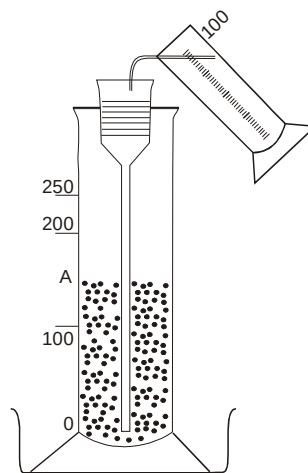


Figura 4-4. Probeta y embudo para determinar el coeficiente de cohesión (K) (3)

- Llenar una probeta de 250 mL, agitar invirtiendo la probeta de arriba a abajo y dejar sedimentar por 5 minutos.
- Después de este tiempo de sedimentación, se debe obtener un sedimento de ± 100 mL.
- Colocar un pequeño embudo prolongado por un tubo cuyo extremo deberá encontrarse a unos 10 milímetros del fondo, como se muestra en la figura 4-4.
- Medir 100 mL de agua decantada. Luego introducir agua decantada en forma discontinua y en pequeñas cantidades, dejando que el exceso caiga por la parte superior de la probeta. Con esto se consigue que el fango se expanda.
- Se mide el tiempo que corresponde a la introducción de los volúmenes de lodo por expandirse (de 150, 170, 190 y 210 mL).
- Medir la altura que corresponde a los 100 mL en la probeta y determinar la velocidad ascensional (v).

$$V = \frac{3,6 X}{T}$$

Donde:

V = Velocidad ascensional,
m/h
 X = altura de lodos (mm)
 T = tiempo (segundos)

- Graficar velocidad ascensional (v) versus volumen aparente (V).
- El valor de K puede ser determinado por intersección de la recta con la ordenada, como se ve en la figura 4-5.

$$V = K \left[\frac{V}{V_0} - 1 \right]$$

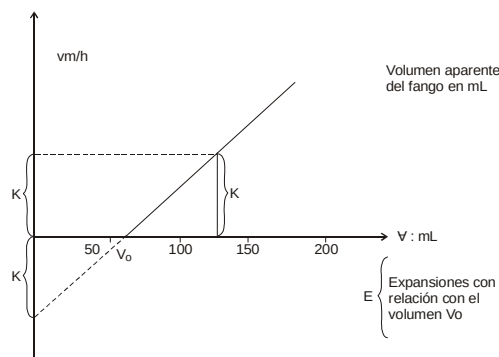


Figura 4-5. Curva de velocidad ascensional versus volumen aparente (1)

Donde:

V_0 = volumen de fango sedimentado correspondiente a una velocidad nula.
 V = velocidad ascensional en la probeta, necesaria para obtener el volumen V_0 .

e) Interpretación de resultados

Para un manto de lodos bien constituido, de sedimentación rápida, el valor k varía entre 0,8 y 1,2.

Para un manto de lodos constituido por un flóculo frágil, ligero y rico en agua, el valor de K es menor o igual a 0,5.

La medida de este coeficiente constituye un valor muy importante para conocer cómo se comportarán los flóculos en un decantador de manto de lodos y para determinar la influencia de un ayudante de floculación.

Para la evaluación continua del decantador, se recomienda el siguiente formato:

Cuadro 4-2. Formato de evaluación del funcionamiento del decantador (1)

Fecha:	
Número de Pulsators en funcionamiento:	
Caudales unitarios:	máximo (m ³ /h) mínimo (m ³ /h)
Altura de expulsión:	
Tiempo de aspiración:	
Porcentaje de lodos a diferentes alturas del manto de lodos:	
Dosis de reactivos:	Sulfato de aluminio: Cloruro férrico: Polielectrolito: Cal:
pH de agua cruda:	
pH de agua decantada:	
Turbiedad del agua cruda:	
Turbiedad del agua decantada:	

3.1.2 Decantador de manto de lodos de separación dinámica

La evaluación de este tipo de decantador se realiza a través de los siguientes ensayos:

- dosificación de sustancias químicas;
- control de la tasa de circulación de lodos;
- regulación del mecanismo de extracción de lodos.

Dosificación de sustancias químicas

Se efectúan las mismas pruebas de dosificación óptima de sustancias químicas que las indicadas para los decantadores del tipo Pulsator.

Control de la tasa de circulación de lodos

Al inicio del funcionamiento del decantador, se debe recircular una tasa mayor de lodos a fin de formar el manto de lodos.

a) Objetivo

Mantener la concentración del manto de lodos dentro del rango establecido.

b) Equipos

Equipo de pruebas para determinar la concentración de lodos en el manto.

c) Procedimiento

La tasa de circulación de lodos depende de dos factores: velocidad de rotación del impulsor-rotor y tamaño de la apertura del impulsor de descarga.

- Mantener lo más alta posible la velocidad del impulsor-rotor, para tener una buena mezcla en la zona de mezcla-reacción.
- La tasa de circulación de lodos se controla normalmente estrangulando la velocidad del impulsor con la faja ubicada alrededor de la periferia que cubre la porción de la apertura. La velocidad del impulsor está en función

de la concentración de lodos, tanto en la parte inferior como en la parte superior. Se sigue el mismo procedimiento de ensayo presentado en “Determinación del coeficiente de cohesión de lodos (K)”, en este mismo capítulo.

- Regular el accionador del impulsor-rotor al 75% ó menos, en función de la concentración de lodos.
- Si la velocidad del impulsor es reducida, se instala la faja y se disminuye la apertura y luego se aumenta la velocidad del impulsor-rotor, para obtener la misma cantidad de lodos de circulación que cuando la velocidad del impulsor-rotor fue menor con apertura grande.

d) Interpretación de resultados

La cantidad de lodo por recircular estará en función de la apertura del impulsor y de la velocidad de rotación con el fin de asegurar la concentración adecuada de lodo en el manto.

Regulación del mecanismo de extracción de lodos

a) Objetivo

Eliminar el exceso de lodo, para evitar la resuspensión de las partículas floculentas que llegan a alcanzar el sistema de recolección de agua decantada, lo que desmejora la calidad del agua producida.

b) Equipo

Equipo de pruebas para la determinación de la concentración de lodos.

c) Procedimiento

El lodo acumulado en los recolectores o concentradores debe ser retirado o eliminado en forma intermitente por medio de las válvulas. El intervalo entre dos purgas sucesivas es determinado por la velocidad de ascenso o descenso del manto de lodos. El tiempo de descarga se determina en función de la concentración de manto de lodos.

La concentración de lodo en la zona de mezcla y en la zona de reacción secundaria debe ser igual; de esta manera, se mantiene el equilibrio entre los sólidos producidos en el tratamiento y los sólidos descargados. Cualquier cambio importante en la concentración de lodo indica una falla de las condiciones de operación. Por lo general, el fenómeno que se presenta en este tipo de decantadores es que el lecho de lodos sube de nivel. Las causas de esta situación pueden ser las siguientes:

- Concentración de lodo demasiado elevada en relación con el caudal de agua cruda.
- Insuficiente extracción de lodo.
- Cambio repentino en las características fisicoquímicas del agua cruda.

La cantidad de lodo descargado debe ser igual a la cantidad de lodo producido; por tanto, se regula la extracción de lodo a fin de mantener esta igualdad.

Si la cantidad de lodo aumenta, se debe incrementar el periodo de extracción, y si disminuye, se debe aminorar el periodo de extracción o descarga de lodo. Cuando la concentración normal de lodo haya sido restaurada, la frecuencia de extracción se debe normalizar.

d) Precaución en el sistema mecánico

Muchas veces el tratamiento del agua con cal u otro producto básico puede crear costras en la superficie de las estructuras metálicas sumergidas en el agua. Si las costras se acumulan en el impulsor-rotor y en las partes de acero, ello puede dar como resultado una avería en el mecanismo del accionador. Por ello, es necesario vaciar el decantador a fin de determinar el grado de deposiciones; si la acumulación de las costras es excesiva, se puede aumentar la dosis de coagulante o la concentración de lodos en el flujo circulante a fin de obtener alguna mejora.

3.1.3 Decantadores de manto de lodos de agitación simple

Estas unidades se caracterizan por no contar con recirculación de lodos, al igual que en los decantadores anteriores. Para evaluar este decantador, se deben realizar los siguientes controles:

Regulación de la velocidad de agitación**a) Objetivo**

Mantener el manto de lodos en suspensión, de tal modo que este no sedimente ni se resuspenda.

b) Equipo de regulación

El equipo de regulación está formado por un agitador mecánico accionado por un motor eléctrico.

c) Procedimiento

- Accionar el dispositivo de control de velocidad del agitador, ya sea aumentando o disminuyendo la velocidad en función de la calidad del agua obtenida y de la concentración de lodo en el fondo del decantador.

Además de este ensayo, se deben realizar los correspondientes a:

- concentración de lodo;
- coeficiente de cohesión de fango;
- frecuencia de extracción de lodos.

Los procedimientos de estos ensayos fueron descritos en las páginas anteriores.

3.2 Filtración

La eficiencia de una unidad de filtración patentada se determina evaluando el funcionamiento del filtro durante el proceso de filtración y el proceso del lavado. Los parámetros que se deben evaluar son turbiedad inicial del agua filtrada, pérdida de carga, velocidad de filtración, conservación del lecho filtrante, eficiencia del lavado y dispositivos de regulación de caudal.

Para evaluar cada uno de estos parámetros, se realizan los siguientes ensayos:

- Características del proceso de filtración
 - determinación de la velocidad y caudal de filtración;
 - determinación de la turbiedad inicial del agua filtrada;
 - evolución de la pérdida de carga y fluctuaciones de pérdida de carga.
- Características del proceso de lavado
 - determinación de la velocidad de lavado;
 - determinación del tiempo óptimo de lavado.
- Características del medio filtrante
 - determinación de la granulometría y espesor del medio filtrante;
 - determinación de las bolas de lodo.

3.2.1 Características del proceso de filtración

Velocidad de filtración

a) Objetivo

Determinar la velocidad y el caudal con el que está operando una unidad.

b) Materiales

Una regla graduada y un cronómetro.

c) Procedimiento

- Colocar la regla dentro del filtro.
- Cerrar la válvula de ingreso del afluente.
- Medir, en segundos, el tiempo (T_f) necesario para que el nivel del agua baje de una marca de la regla a la siguiente, una distancia de 10 cm.
- Repetir varias veces la medición y promediar los valores de T_f .
- Calcular la velocidad de filtración.

$$V_F = (m^3/m^2/d) = \frac{\forall f \times 86.400}{A_f \times T_f}$$

Donde:

- A_f = área del lecho filtrante (m^2)
 T_f = tiempo de filtrado (s)
 $\forall f$ = volumen filtrado (m^3)

d) Observaciones

Cuidar de que el nivel del agua esté siempre por encima de las canaletas de lavado, mientras se efectúen las mediciones.

e) Interpretación de los resultados

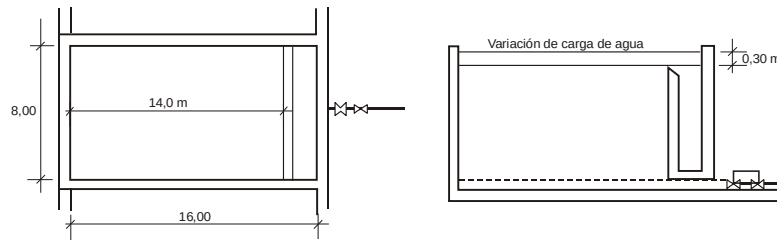


Figura 4-6. Esquema del filtro (4)

Bajas velocidades de filtración no son sinónimo de una alta eficiencia y viceversa. Tienen únicamente interrelación la velocidad de filtración con la calidad del agua en aguas difíciles de tratar. Los resultados servirían como criterio para la calibración de los registros.

Aplicación práctica

En una planta se evalúa el filtro indicado en la figura 6 y se obtienen los siguientes datos:

- Área de la caja del filtro : $AF = B \times L_F = 8,00 \times 16,00 = 128 \text{ m}^2$
- Área del filtro : $Af = B \times L = 8,00 \times 14,00 = 112 \text{ m}^2$
- Tiempo en el cual descendió 0,30 m : 190 s
- Volumen filtrado : $\forall f = AF \times h = 128 \times 0,30 = 38,40 \text{ m}^3$

- Velocidad real de filtración :
$$V_F = \frac{V_f \times 86.400}{A_f \times T_f} =$$

$$= \frac{38.400 \times 86.400}{112 \times 190} = 156 m^3 / m^2 / d$$

$$I = \frac{VC}{V_F} \times 100 = \frac{120}{156} \times 100 = 76\%$$

Calibración de instrumentos de medición de flujo

Con mucha frecuencia, los medidores de caudal de filtración y de lavado de una planta se encuentran descalibrados. Esta calibración puede efectuarse fácilmente como consecuencia de la medición de las velocidades respectivas. Variando las velocidades en las pruebas descritas en los acápites respectivos, se determinan los caudales y se comparan con el caudal que indican los instrumentos.

También a partir de la medición de la pérdida de carga mediante los piezómetros, es posible calibrar el medidor respectivo.

Aplicación práctica

A continuación se indican, en el cuadro 4-3, los resultados de la evaluación de las plantas 1 y 2.

Los controles del filtro de la planta 1 están descalibrados; en cambio, los de la planta 2 están en buenas condiciones.

Cuadro 4-3. Precisión de los medidores de velocidad de filtración (4)

Planta de tratamiento	Filtro n.º	Área (m²)		Tiempo de descenso (seg)	Distancia de descenso (cm)	Caudal (L/seg)		Eficiencia %
		Filtro	Lecho filtrante			Calc. en el ensayo	Indic. por el equipo	
1	4	135,2	116,4	199	30	235	190	123
2	1	38	33,6	166	30	69	69,5	99

Pérdida de carga

La evolución de la pérdida de carga en un filtro ofrece información de gran importancia para la evaluación del estado en que se encuentra, así como del proceso de filtración en sí mismo.

a) Propósito

Determinar la pérdida de carga del filtro.

b) Instrumentos

Un piezómetro (mangueras de goma transparente) y dos reglas graduadas.

c) Procedimiento

- Instalar una regla graduada dentro de la caja del filtro para medir el nivel del agua en el filtro. Conectar el otro a la tubería de salida del agua filtrada.
- Las miras de los dos piezómetros deberán nivelarse haciendo coincidir el cero con el nivel máximo de la caja del filtro.
- Leer el nivel dentro de la caja del filtro (h).
- Leer el nivel a la salida del filtro (h_f) (punto medio de las fluctuaciones, si las hubiera).
- La pérdida de carga estará dada por la diferencia de las dos lecturas:

$$hf = h - h_f$$

- Estas mediciones se deben efectuar a intervalos de una hora durante una o varias carreras de filtración preferentemente.
- Graficar los valores de hf (en cm) versus T (en horas).

d) Interpretación de los resultados

Rápidas variaciones de la pérdida de carga (discontinuidades en su trazado) pueden significar que el lecho filtrante no se encuentra en buenas condiciones o que hay perturbaciones del flujo, que ocasionan el rápido traspaso de grandes cantidades de material previamente depositado en el lecho. Esta situación se puede verificar mediante mediciones simultáneas de la calidad del agua.

Estudiando la forma de las curvas de pérdida de carga, es posible deducir la calidad del flóculo formado, como se indicó en *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría*, tomo II, cap. 9, "Filtración".

- Una curva de pérdida de carga en forma de línea recta durante la carrera de filtración indica una penetración en aumento del flóculo dentro del medio filtrante.
- Una curva de pérdida de carga a lo largo de la carrera del filtro con una curvatura hacia arriba muy pronunciada indica una penetración muy limitada de la materia coagulada dentro del medio filtrante. Esta es la condición normal.

Aplicación práctica

Se evaluaron tres plantas de tratamiento de agua y se encontraron los datos de variación de pérdida de carga indicados en el cuadro 4-4 y graficados en la figura 4-7.

La planta 1 da una curva de pérdida de carga debido a flóculos demasiado duros. En cambio, la curva de la planta 3 es característica de flóculos débiles. La curva de la planta 2 es típica de flóculos relativamente normales.

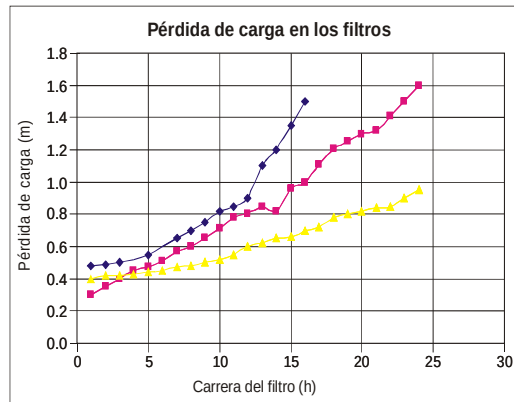


Figura 4-7. Pérdida de carga en filtros (4)

Cuadro 4-4. Variación de pérdida de carga en filtros rápidos (m) (4)

Tiempo (horas)	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Observaciones
1	0,48	0,30	0,40	Se lava el filtro 1
2	0,49	0,35	0,42	
3	0,50	0,40	0,42	
4	0,52	0,45	0,43	
5	0,55	0,47	0,44	
6	0,60	0,51	0,45	
7	0,65	0,57	0,47	
8	0,70	0,60	0,48	
9	0,75	0,65	0,50	
10	0,82	0,71	0,52	
11	0,85	0,78	0,55	
12	0,90	0,80	0,60	
13	1,10	0,85	0,62	
14	1,20	0,82	0,65	
15	1,35	0,96	0,66	
16	1,50	1,00	0,70	Se lava el filtro 2
17		1,11	0,72	
18		1,21	0,78	
19		1,25	0,80	
20		1,30	0,82	
21		1,32	0,84	
22		1,41	0,85	
23		1,50	0,90	
24		1,00	0,95	

Fluctuaciones de pérdida de carga

Es conocido el hecho de que en toda válvula semicerrada o tubo Venturi la lámina de agua se desprende de las paredes del conducto y produce un pistoneo que crea alteraciones instantáneas de flujo que influyen activamente en el proceso de filtración.

Este efecto se puede apreciar colocando tubos de plástico transparentes o piezómetros de 1,2” de diámetro en la tubería afluente del filtro, como se ha indicado anteriormente.

a) **Objetivo**

Determinar la magnitud de las fluctuaciones del nivel de agua en los piezómetros.

b) **Materiales**

Los mismos materiales indicados para el ensayo anterior.

c) **Procedimiento**

Colocar un papel detrás del tubo instalado en la tubería del efluente y durante un minuto marcar las variaciones de nivel de agua en los piezómetros. Los extremos indicarán las fluctuaciones de nivel máximas y mínimas.

d) **Interpretación de los resultados**

Se ha demostrado que todo cambio brusco de flujo en un filtro produce un desprendimiento de partículas adheridas a los granos. Existe, en consecuencia, una relación entre el porcentaje de fluctuación de la pérdida de carga y la calidad del agua filtrada. El siguiente cuadro nos da una idea de esos valores:

Cuadro 4-5. Calidad del agua filtrada en función de las fluctuaciones

Calidad del agua	Porcentaje de fluctuación de la pérdida de carga
Buena	➤ 2%
Mediana	➤ 4%
Mala	➤ 6%

A partir de los valores obtenidos en la prueba, se puede trazar en papel logarítmico una curva de variación del porcentaje de la fluctuación de pérdida de carga en función de la cantidad de agua filtrada.

Los puntos deberían estar ubicados sobre una recta con tangente igual a 2, ya que estudios exhaustivos realizados por Baylis y Hudson mostraron que la amplitud de las fluctuaciones de pérdida de carga varía en proporción al cuadrado del caudal del agua filtrada.

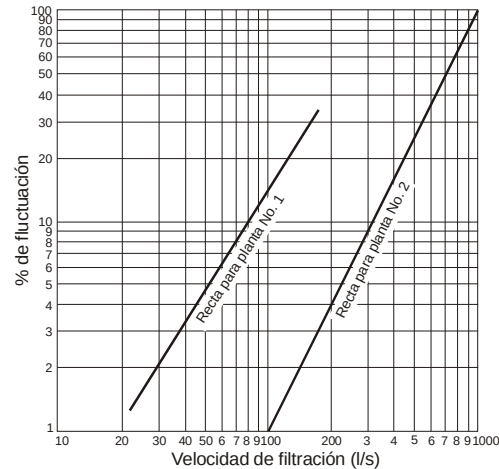


Figura 4-8. Amplitud de fluctuación de la pérdida de carga (4)

Aplicación práctica

Las medidas de las fluctuaciones de la pérdida de carga en dos plantas de tratamiento se representan en la figura 4-8. De esta figura se puede concluir que la planta 2 tiene un sistema de control más apropiado que la planta 1.

Número de Mintz

La necesidad de encontrar un criterio para optimizar la operación de los filtros condujo a los investigadores a formular algunas recomendaciones basadas en la experiencia. Entre estos estudiosos está Mintz (5), quien, para optimizar el funcionamiento de los filtros, establece una relación entre el tiempo requerido (T_1) para alcanzar una calidad predeterminada de agua y el tiempo requerido (T_2) para aprovechar al máximo la capacidad hidráulica del filtro.

El ideal consiste en lograr que $[T_1 / T_2 = 1]$; es decir, que se consiga la máxima pérdida de carga simultáneamente con el límite de calidad del agua. Cuando esto ocurre, se considera que el filtro está operando en condiciones óptimas.

a) Propósito

Determinar los tiempos críticos de operación para establecer la calidad del pretratamiento.

b) Materiales

Un piezómetro, instalación de una derivación y un grifo, recipientes para toma de muestra y un turbidímetro.

c) Procedimiento

- Determinar la curva de variación de pérdida de carga a lo largo de la carrera, midiendo la pérdida de carga cada hora.
- Instalar una derivación y un grifo sobre la tubería de agua filtrada, de modo de tomar el efluente del filtro y determinar la turbiedad cada hora.
- Prolongar el ensayo hasta que se consiga la máxima pérdida de carga en la instalación y la turbiedad límite establecida.
- Graficar en la misma lámina las curvas de variación de pérdida de carga y la turbiedad versus el tiempo de filtración.

d) Interpretación de los resultados

Del análisis de las curvas se puede establecer la relación entre el tiempo (T_1) en que se alcanzó la máxima pérdida de carga y el tiempo (T_2) en que se obtuvieron las condiciones límite de calidad del agua.

A partir de un estudio preliminar sobre la interpretación de los valores de T_1 y T_2 , se sugiere que:

- Cuando $T_1 > T_2$, el flóculo es muy fuerte; ello posiblemente se debe a lo siguiente:
 - dosis excesiva de ayudante de coagulación;
 - dosis excesiva de coagulante;
 - excesiva altura del lecho filtrante.

- Cuando $T_1 < T_2$, el flóculo es muy débil. Ello posiblemente se debe a lo siguiente:
 - necesidad de un ayudante de filtración. La dosis se determinaría por aproximaciones hasta conseguir $T_1 = T_2$;
 - dosis muy baja de coagulante;
 - necesidad de incrementar la altura del lecho filtrante;
 - uso de arena muy fina.

Aplicación práctica

Al evaluarse los filtros de una planta de tratamiento, se midieron las pérdidas de carga y la turbiedad del efluente. Se obtuvieron los resultados indicados en la figura 4-9, de la cual se deduce lo siguiente:

- Tiempo necesario para alcanzar la turbiedad límite de 2 UN:

$$T_1 = 16,40 \text{ horas}$$

- Tiempo necesario para alcanzar el límite de carga de 2 m:

$$T_2 = 31,50 \text{ horas}$$

El índice de Mintz será:

$$IM = \frac{T_1}{T_2} = \frac{16,40}{31,50} = 0,52$$

valor característico de un flóculo muy débil, ocasionado por subdosificación de sustancias químicas y/o bajos gradientes de mezcla y floculación.

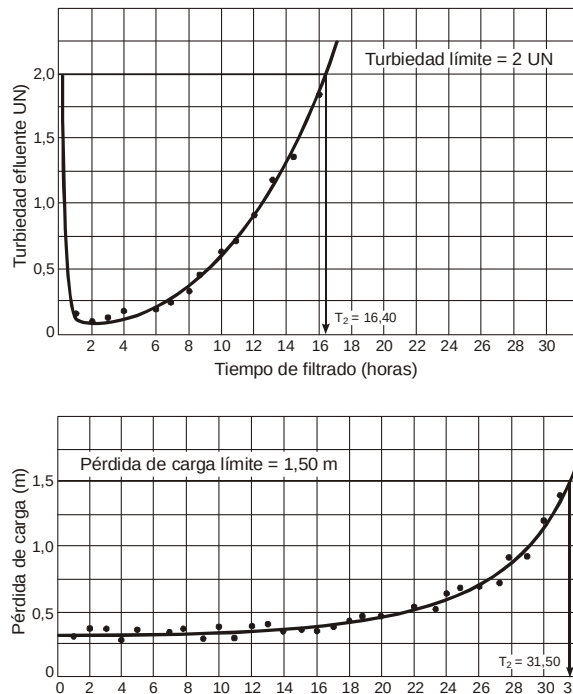


Figura 4-9. Amplitud de fluctuación de pérdida de carga (4)

Calidad de la etapa inicial de filtración

Cuando el filtro recién lavado es puesto en operación, se obtiene, por lo general, un efluente con turbiedad más alta que durante el resto de la carrera, debido a que cierta proporción de las partículas que se desprendieron durante el proceso de lavado han quedado retenidas sobre el lecho y dentro de este, y esas partículas salen al poner el filtro en servicio. En general, cuanto más descuidada sea la operación del filtro y más deteriorado se encuentre el lecho filtrante, peor será la calidad del efluente inicial producido por este, por lo que se justifica conocer la calidad del filtrado inicial.

a) Objetivo

Detectar el comportamiento del filtro al inicio de su carrera y determinar el tiempo que demora en alcanzar la turbiedad normal. Mediante esta prueba se puede determinar también el comportamiento del medio filtrante.

b) Materiales

15 recipientes de 150 mL o más y un turbidímetro

c) Procedimiento

- Instalar una llave sobre la tubería del efluente antes de que este se mezcle con el de las otras unidades.
- A partir del momento en que se reinicia la operación de filtrado, comenzar a tomar muestras cada minuto hasta los 15 minutos.
- Determinar la turbiedad de la muestra.
- Graficar los datos y trazar la curva de turbiedad versus tiempo en papel semilogarítmico de dos ciclos.

d) Interpretación de los datos

Los lechos con diámetro efectivo grande presentan una ascensión suave de la turbiedad hasta llegar a un punto máximo, después del cual esta desciende suavemente.

En los filtros con lechos de arena de diámetro efectivo pequeño, la recuperación es más rápida, al contrario de lo que ocurre con los filtros de mayor diámetro.

El paso de la materia floculada al inicio de la filtración ocurre tanto en los filtros con lavado superficial como en los que no lo tienen. Cuando las turbiedades iniciales son muy altas, se puede suponer que el filtro quedó mal lavado. Esto, por supuesto, no es una regla absoluta, pues cada filtro suele comenzar la carrera con una cierta turbiedad que depende del estado del lecho filtrante, pero turbiedades por encima de las corrientes sí son indicativas de que faltó tiempo de lavado.

Aplicación práctica

En el cuadro 4-6 se incluyen los datos tomados en dos plantas de tratamiento. Estos datos se graficaron y se obtuvieron las curvas de la figura 4-10.

Cuadro 4-6. Turbiedad al iniciar la filtración (4)

Planta	Filtro n.º	Tiempo en minutos											
		1	2	3	4	5	7:5	10	12	15	20	30	
		Turbiedad de la muestra (UNT)											
1	6	14	4:80	1:80	1:70	0:90	0:75	1:10		0:70	0:55	1:0	
2	1	1	0:43	0:35	0:28	0:24	0:35		0:38		0:39		
	2	2:30	1:20	1:20	1:20	1:0	1:30	1:50	1:60		1:80		

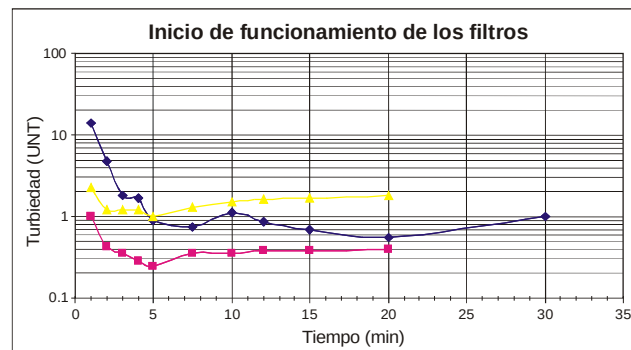


Figura 4-10. Inicio de funcionamiento de los filtros (4)

En los filtros de la planta 2, debido a la diferencia en la granulometría del medio filtrante, el filtro 2 produjo una turbiedad más alta que el filtro 1, el que llegó a su turbiedad normal en solo 9 minutos.

En cambio, el filtro de la planta 1 tardó mucho más en normalizarse. Su funcionamiento es, sin embargo, mejor que el del filtro 2 de la planta 2.

3.2.2 Características del proceso de lavado

Velocidad de lavado del filtro

a) Objetivo

Determinar el caudal y la velocidad de lavado.

b) Materiales

Una regla graduada y un cronómetro.

c) Procedimiento

- Fijar la regla graduada a una de las paredes del filtro.
- Cerrar la válvula de ingreso de agua sedimentada y cuando el nivel del agua descienda hasta el medio filtrante, cerrar la válvula de salida de agua filtrada.
- Abrir la válvula de desagüe y la de ingreso de agua de lavado.
- Medir el tiempo (T) que tarda en subir el nivel de agua en la caja del filtro una altura H .
- Calcular la velocidad y el caudal de lavado:

$$v_L = \frac{H}{T} ; \quad Q = \frac{A \times H}{T}$$

Donde:

A = área del filtro (m^2)

H = variación de la altura del agua (m)

T = tiempo en que se incrementa una altura H (minutos)

d) Interpretación de los resultados

El rango de velocidad de lavado con agua normalmente utilizado se encuentra entre 0,60 y 0,80 m/min, dependiendo de la granulometría del medio filtrante y del tipo de lavado; esto es, si se lava solo con agua o con aire y agua. Para lavados en los que solo se usa agua, se recomiendan porcentajes de expansión promedio del orden de 30% y cuando el lavado es con aire y agua, este porcentaje es del orden de 10% y, en algunos casos, hasta cero.

Aplicación práctica

El cuadro 4-7 indica los resultados obtenidos en la evaluación de varias plantas de tratamiento.

Cuadro 4-7. Determinación de la velocidad y caudal de lavado (4)

Planta de tratamiento	Filtro n.º	Área (m ²)		Tiempo de subida (s)	Distancia de subida (cm)	Distancia de subida (cm)	Caudal de lavado (L/s)
		Filtro	Lecho filtrante				
Planta 1	6	135,56	117,04	78	50	0,38	750
Planta 2	1		11,41	15	30	1,20	227
	2		11,41	15,5	30	1,16	221

La velocidad de lavado de los filtros de la planta 1 es baja, pues es de apenas 0,38 m/min, y la de la planta 2 es aparentemente muy alta. Para juzgar si estos valores son adecuados, debe evaluarse el contenido de bolas de lodo, el porcentaje de expansión y la granulometría del medio filtrante.

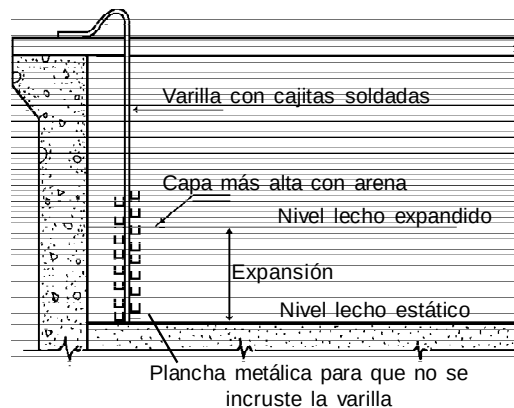


Figura 4-11 Medidor de expansión del lecho filtrante (4)

Expansión del lecho filtrante

Según la velocidad con la cual se inyecte el agua de lavado y la granulometría del medio filtrante, este último tenderá a expandirse.

En filtros de diseño americano, con arena fina de 0,45-0,55 mm de diámetro efectivo, la expansión es del orden del 20% al 50%.

En filtros de diseño europeo, con arena gruesa de 0,80 a 1,00 mm de diámetro efectivo y lavado con aire y agua, la expansión es menor de 10% y en algunos casos llega a cero.

a) Objetivo

Determinar el porcentaje de aumento de espesor del lecho filtrante durante la operación de lavado.

b) Materiales

Varilla metálica con cajitas soldadas a una distancia de 5 cm entre los bordes de las cajitas (figura 4-5).

c) Procedimiento

- Fijar la varilla dentro del filtro colocando el extremo inferior encima del lecho filtrante.
- Proceder a efectuar el lavado normalmente.
- Medir la distancia (Δh) entre la caja más alta que contenga arena y el extremo inferior de la varilla.
- Determinar la altura del lecho filtrante (h).
- Determinar el porcentaje de expansión del lecho filtrante:

$$\frac{\Delta h}{h} \times 100$$

Aplicación práctica

En el cuadro 4-8 se incluyen los resultados de las mediciones hechas en las plantas de tratamiento indicadas.



Figura 4-12. Lavado de filtro rápido (3)

Cuadro 4-8. Expansión del lecho filtrante en filtros de distintas plantas (4)

Planta de tratamiento	Filtro n.º	Expansión medida (cm) (a)	Profundidad de la arena (cm) (b)	% de expansión
Planta 1	6 sin lavado superficial	8,8	68	13
Planta 1	6 con lavado superficial	11	68	16
Planta 2	1-A	23	67	34,4
	1-B	13	59,6	21,8



Figura 4-13. Lavado con aire y agua (3)

En la planta 1 la velocidad de lavado es relativamente baja, como se vio en una prueba anterior, y la expansión del medio filtrante varía entre 13% y 16%.

La planta 2 tiene medios filtrantes muy viejos, que aparentemente muestran granulometría diferente. Por eso uno se expandió 21,8%, y el otro, 34,4%. Ninguno de los dos tiene muchas bolas de barro.

Duración del proceso de lavado

Cuando se hace el lavado de un filtro, la turbiedad del agua de lavado aumenta rápidamente al principio y puede llegar a valores superiores a 1.000 UNT, y luego, a medida que el medio filtrante se va limpiando, va disminuyendo hasta alcanzar cifras inferiores a 10 UNT, las cuales rara vez decrecen aunque el lavado se prolongue por largo tiempo. Al estudiar esta curva, se puede determinar el tiempo adecuado de lavado.



Figura 4-14. Lavado con aire y agua (2)

a) Objetivo

Determinar el tiempo óptimo en que debe realizarse el lavado del filtro.

b) Materiales

Vasos de plástico de 150 mL, un cronómetro y un turbidímetro.

c) Procedimiento

- Numerar los vasos del 1 al 15.
- Iniciar el lavado normal del filtro y tan pronto como caiga la primera agua de lavado en las canaletas, llenar el frasco 1 rápidamente. Continuar llenando los frascos cada minuto hasta completar los 15 ó el número que sea necesario para cubrir el tiempo de lavado del filtro.

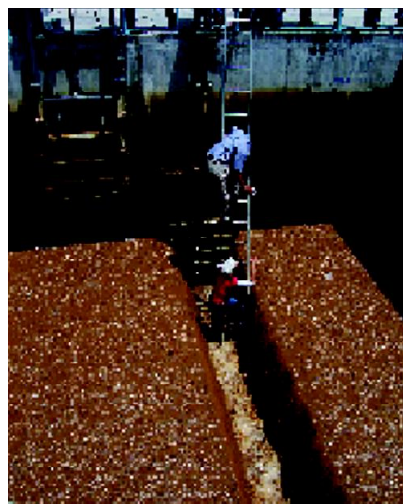


Figura 4-15. Tomando muestras durante el lavado (3)

- Durante el lavado debe observarse el comportamiento del filtro. La figura 4-14 muestra un filtro durante esta operación. Pueden observarse cuatro puntos en los que el agua sale a borbotones; esto se debe a que en esos puntos hay boquillas rotas.
- Determinar las turbiedades de las muestras y dibujar la curva turbiedad versus tiempo en papel logarítmico-aritmético de tres ciclos.
- Determinar en la curva el punto de inflexión inferior en donde esta tiende a ser asintótica con respecto al eje horizontal. El tiempo óptimo de lavado corresponderá al coincidente con el punto de inflexión. A partir de este momento no se gana nada con prolongar el proceso.

Aplicación práctica

En el filtro 6 de la planta 1 se tomaron turbiedades del agua de lavado, primero con los brazos rotatorios Palmer funcionando, y en otra oportunidad con ellos sin funcionar. Los resultados se incluyen en la figura 4-16 y en el cuadro 4-9, conjuntamente con los de las plantas 2 y 3 (filtros con lavado de agua y aire).

Al estudiar las curvas de la figura 4-8, se puede ver que para los filtros de la planta 1 el tiempo óptimo de lavado es de 6 a 8 minutos, pues la turbiedad disminuye poco posteriormente. Existe, sin embargo, una apreciable diferencia en el comportamiento del filtro si el lavado se hace con los Palmer funcionando y sin funcionar. En el primer caso, a los 5 minutos la turbiedad ya había bajado de 5 UNT y la turbiedad final quedó en 2,6 UNT, valores más bajos que en el segundo caso. El lavado superficial sirvió, por lo tanto, para acelerar la limpieza del filtro y para hacerla más completa.

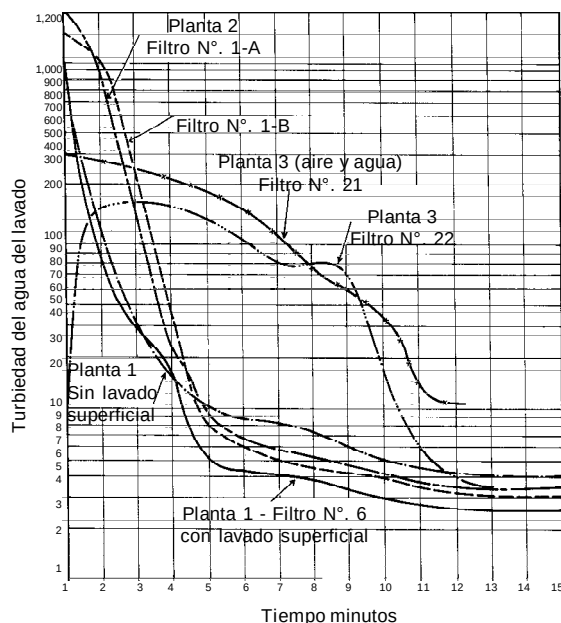


Figura 4-16. Duración del lavado (4)

Al comparar estos resultados con los de los filtros de la planta 2, que no tienen lavado superficial, pero en los que se usa una velocidad ascendente mayor que en la planta 1, se puede observar que su comportamiento es similar al del filtro 6 de la planta 1, con los Palmer parados.

En forma muy distinta se comportan los filtros de la planta 3, que tienen lavado con aire y agua simultáneamente, sin expansión del medio filtrante. La limpieza se hace mucho más lentamente. Se requieren de 12 a 15 minutos para completar el lavado.

Cuadro 4-9. Turbiedad del agua de lavado para diferentes filtros (4)

Planta de tratam.	Filtro	Tiempo en minutos							
		1	2	3	4	5	7:5	10	15
		Turbiedades de las muestras							
Planta 1	Sin lavado superficial	900	120	30	15	10	8	5	4
	Con lavado superficial	1.200	75	30	7,5	5	4	3	2,5
Planta 2	1	2.000	1.000	140	23	9,5	5,5	4,2	3,4
	2	1.500	1.100	280	34	7,7	4,7	4,0	3,0
Planta 3	1	7,7	149	147	150	68	70	15	4,3
	2	290	260	250	230	220	75	32	12

Perfil del lecho de grava

Los movimientos en el lecho de grava normalmente son causados por:

- deficiencias en el sistema de drenaje;
- distribución no uniforme del agua de lavado;
- aberturas muy rápidas de las válvulas de entrada del agua de lavado;
- entrada de aire en los drenes del filtro.

a) Objetivo

Determinar la magnitud de los movimientos en la capa de grava.

b) Materiales

Varilla metálica graduada (figura 4-17).

c) Procedimiento

- Obtener planos detallados del filtro.
- Dibujar un esquema en planta acotado del filtro con la posición de las canaletas de lavado y canales de desagüe.
- Marcar en el esquema una serie de puntos acotados a lo largo y ancho del filtro.
- Introducir la varilla en cada uno de estos puntos hasta tocar la grava.
- Dejar el nivel del agua 10 centímetros sobre el lecho para tomarlo de referencia y determinar la profundidad en la varilla.
- Llevar los datos a un plano y con ellos dibujar las curvas de nivel de 1 a 2 centímetros. De este modo puede estudiarse la posición exacta que tiene la grava dentro del filtro.

d) Interpretación de los resultados

Los desniveles en la superficie de la grava deben ser inferiores a 5 centímetros. Variaciones mayores indican la necesidad de un estudio para determinar las causas que los originaron para proceder a su corrección.

Aplicación práctica

Los filtros de una planta de tratamiento son del tipo doble con cuatro canaletas de lavado por lado. Los bordes de estas se tomaron como guía para evaluar 32 puntos por sección del filtro (64 en total). Se marcaron los puntos como se indica en la figura 4-18 y se realizó el ensayo correspondiente, cuyos resultados sirvieron para preparar la figura 4-19.

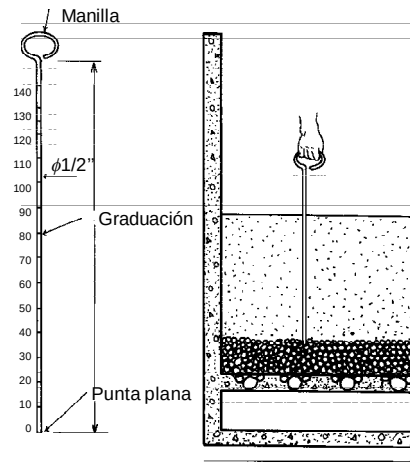


Figura 4-17. Perfil de la capa soporte de grava (4)

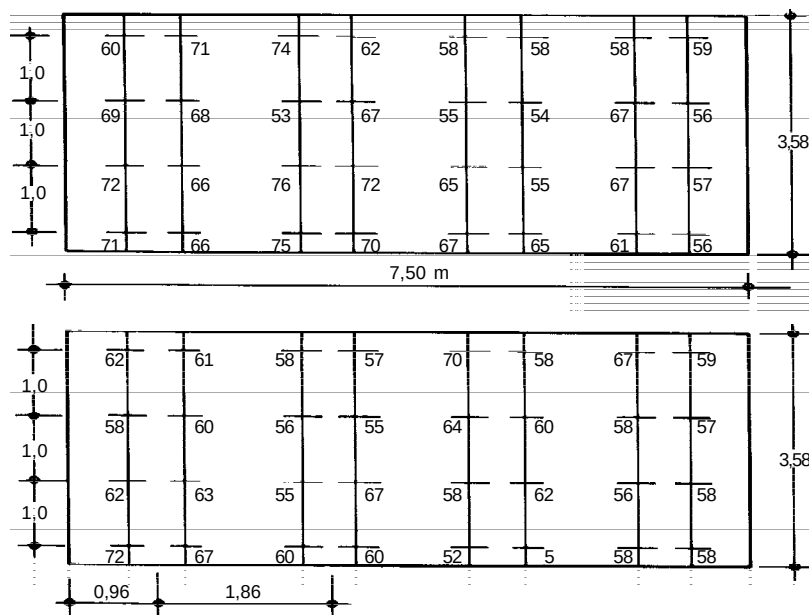


Figura 4-18. Ubicación de puntos para determinar la altura de la grava (4)

En el caso de esta planta, el filtro estudiado tenía más de 10 años de servicio sin mantenimiento y por eso la grava está bastante dispareja, con diferencias de hasta 13 centímetros entre las partes más altas y las más bajas.

La parte más alta tiende a estar al lado opuesto a la entrada del agua de lavado debido a la energía cinética de esta, que ejerce mayor presión en ese punto.

Evaluación de los dispositivos de regulación de caudal

La calidad del agua filtrada es función principal de las características del filtro, pero también del dispositivo de regulación del caudal. Esta regulación no debe:

- provocar variaciones grandes de caudal.
- funcionar con intermitencia.
- ser sensible a factores que permitan el deterioro de la calidad del agua filtrada ni la corrosión prematura del filtro.

En la mayoría de las plantas patentadas, cada filtro recibe el mismo caudal de agua por filtrar gracias a una repartición equitativa efectuada por orificios o por vertederos ubicados a la entrada del filtro. Para que el caudal de salida sea igual al de la entrada en cada filtro, cualquiera que sea el estado de suciedad del medio filtrante, es suficiente mantener constante el nivel de agua sobre el filtro, para lo cual existen diferentes tipos de reguladores. Los mecanismos de regulación de caudal de filtración más conocidos son los siguientes:

- sifón, caja parcializadora;
- válvula de mariposa electroneumática.

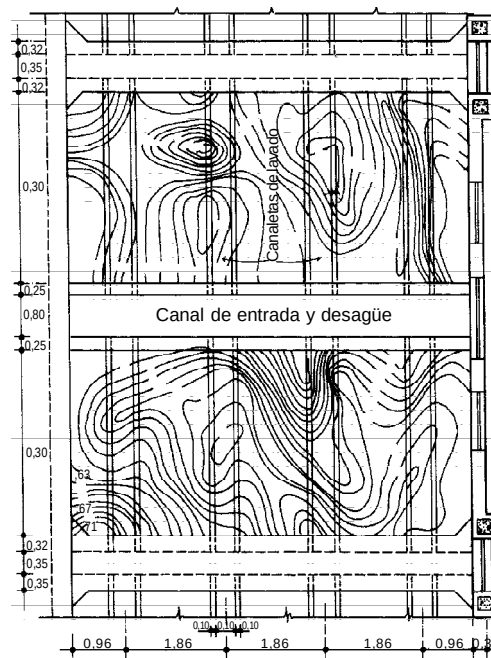


Figura 4-19. Topografía de un lecho de grava (4)

La regulación del nivel de agua en los filtros responde a los siguientes criterios:

- La regulación del caudal de agua filtrada es función del nivel de agua sobre el lecho filtrante; con esto se obtienen variaciones muy pequeñas de caudal, considerando la gran superficie disponible.
- Una regulación continua en función del nivel de agua sobre el lecho filtrante, sin demasiados elementos mecánicos complicados. Esto corresponde a una regulación óptima deseable.

En una planta de tratamiento las variaciones de caudal son continuas, por lo que la regulación en los filtros patentados de tasa constante debe realizarse sin intervención humana para cada cambio de caudal y en forma inmediata.

Durante la filtración se deben evitar los fenómenos de oscilación, ya que su presencia produce arrastre de material previamente filtrado, agua de mala calidad

y, a veces, hasta el deterioro del lecho filtrante, por lo que es necesario tener una velocidad de filtración constante.

Regulación del caudal de filtración por medio del sifón-caja parcializadora

a) Descripción del dispositivo de control

Con este conjunto, en el cual la caja de parcialización es el dispositivo de detección y de mando, y el sifón el elemento regulador, puede realizarse la regulación de nivel (figura 4-20).

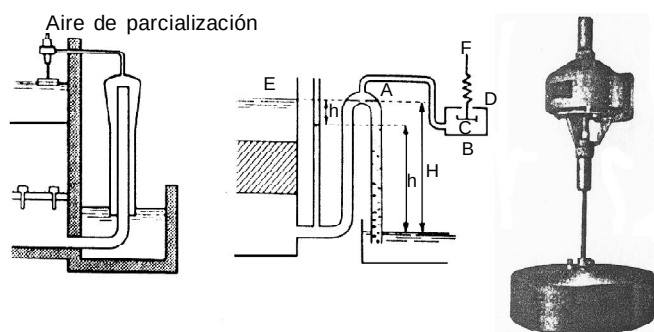


Figura 4-20. Sifón y caja parcializadora (1)

Sifón

Está constituido por dos tubos concéntricos. La circulación se efectúa desde el tubo interior hacia el tubo exterior.

Caja de parcialización

Es el dispositivo que regula el caudal de aire introducido en la parte superior del sifón. La caja parcializadora está formada por el flotador y un elemento detector.

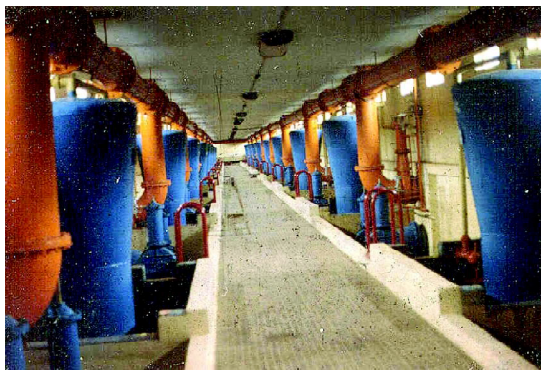


Figura 4-21. Galería de tubos con sifón y caja parcializadora(2)

La ubicación de estos dispositivos en los filtros es como sigue:

- La caja parcializadora se encuentra en la superficie de la caja del filtro.
- El sifón se encuentra a la salida de agua del filtro.

b) Objetivo

Mantener el caudal de agua constante desde la puesta en marcha hasta el lavado. Es necesario que ambos dispositivos trabajen en forma coordinada, de modo que ninguno de ellos se descalibre antes de que el filtro llegue a su máxima pérdida de carga por colmatación; para ello, se evaluarán constantemente las variaciones que se producen en ellos a fin de corregirlos.

c) Procedimiento de evaluación

La evaluación de este conjunto sifón-caja parcializadora consiste en lo siguiente:

- Lavar el filtro en la forma convencional y luego colocarlo en la posición de parada.
- Verificar que las válvulas de ingreso y salida de agua se mantengan cerradas.
- Medir el nivel de agua sobre los filtros, teniendo en cuenta las condiciones normales de operación: 1,0 y 1,2 m de agua para filtros tipo T y tipo V, respectivamente.
- Verificar y mantener el centro del flotador sobre el nivel de agua. Este flotador está unido al dispositivo detector a través de un eje que actúa como un resorte, lo que permite producir las máximas y mínimas variaciones, teóricamente entre 50 centímetros del centro del flotador y el centro del acople fijador, de tal modo que siempre el flotador esté sumergido en el agua.
- La regulación de la caja parcializadora permite el ingreso de aire en el sifón en forma automática, ya que los sifones se encuentran interconectados por

- A medida que el filtro se atasca, la cantidad de aire en el cuello del sifón disminuye, y la caja parcializadora se cierra. Se observa que el resorte se desplaza y provoca reducción de la sección y del caudal de entrada de aire. Cuando el filtro se encuentra completamente atascado, no ingresará nada de aire al sifón.
- La verificación de la cantidad de aire que se introduce inicialmente en el cuello del sifón se realizará por medio del caudal de agua medido a la salida del filtro, lo que indica que la regulación de la caja parcializadora es correcta; en caso contrario, se deberá modificar la altura del eje del flotador, moviendo los topes.
- Si el nivel de agua en el filtro se eleva, bien sea porque el filtro se encuentre colmatado o porque el caudal general de la planta se incrementa, entonces la caja de parcialización se cierra. Se produce entonces una reducción de caudal de aire dentro del sifón y un incremento de caudal de agua filtrada.
- Si el nivel de agua en el filtro disminuye, entonces la caja de parcialización se abre; aumenta así la cantidad de aire dentro del sifón y disminuye el caudal de agua filtrada.
- Durante el periodo de evaluación se debe llenar el siguiente formato:

Cuadro 4-10. Formato de evaluación de filtros (1)

[illegible]

d) Conclusiones

Si durante el tiempo de operación la pérdida de carga disponible no ha sido consumida, mientras que la caja parcializadora expulsó todo el aire, entonces se puede decir que no hay buena calibración ni ubicación, sobre todo de la caja parcializadora. Solo por medio de la experimentación se podrá determinar cuál es la altura a la cual debe ir ubicada esta caja, así como la altura del eje (resorte), con lo cual se permitirá introducir una cantidad de aire exactamente igual a la carga hidráulica disponible.

El caudal de filtración se puede determinar mediante el procedimiento de medición de la velocidad de filtración (ver sección 3.2.1 de este mismo capítulo).

Regulación del caudal y del nivel de filtración por medio de válvula de tipo mariposa de accionamiento electroneumático

a) Descripción del dispositivo de regulación electrónico

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

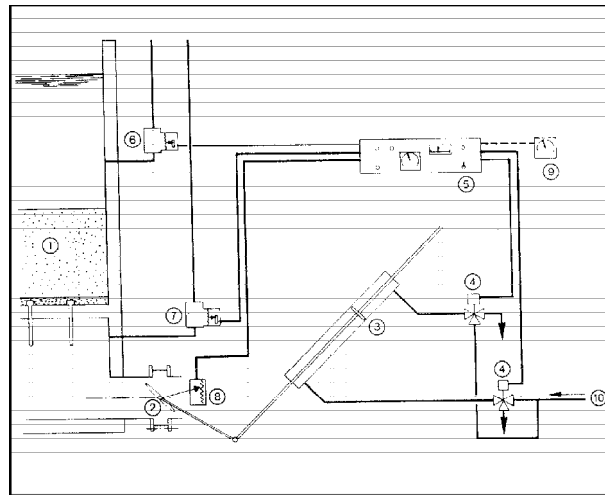


Figura 4-22. Válvula mariposa de accionamiento electroneumático (5)

Comprende:

- Un dispositivo servocontrolado de comando: formado por una válvula tipo mariposa.
- Un dispositivo de medición: constituido por un captador RN que emite una señal eléctrica de 0-10 mA para una variación de 0-0,5 m de columna de agua en la caja de filtro.
- Un potenciómetro: ubicado en el eje de la válvula.
- Un *rack* o tablero electrónico: tipos RN, RNC, RNCI. El más usual es el RNCI, ya que regula el nivel de agua e incluye también conexiones necesarias para la alimentación de un segundo captador tipo I. C. que sirve para medir el grado de atascamiento del filtro y su respectivo indicador ubicado en el tablero de mando de cada filtro.

El principio de funcionamiento de este dispositivo (ver figura 4-22) es el siguiente:

Un captador de presión (6) con indicadores de tensión suministra una señal eléctrica proporcional a su altura de inmersión: se compara esta señal con un valor de consigna, que materializa el nivel que debe mantenerse constante.

Cualquier desequilibrio entre la medida y la consigna, superior al umbral fijado en el sistema (± 2 cm) acciona el regulador electrónico (5). Una vez diferenciado el sentido de este desequilibrio, se produce el accionamiento de una de las dos electroválvulas (4) colocadas sobre el conducto del fluido que alimenta al tornillo de accionamiento (3) de la válvula de mariposa del agua filtrada (2). Se provoca así una tendencia a la apertura o cierre de ésta, en tanto se restablece el equilibrio.

Un potenciómetro (8), solidario con el eje de la válvula, introduce en el dispositivo de regulación una reacción regulable, que se anula progresivamente en el tiempo, de forma que el nivel regulado pueda volver, sin fluctuaciones, a su valor de consigna.

Este equipo, totalmente transistorizado, comprende un cierto número de dispositivos anexos, mediante los cuales pueden regularse la banda de regulación, el grado de reacción, el aumento de amplificación y, eventualmente, la apertura después del lavado, para efectuar el arranque progresivo en el momento deseado.

b) Objetivo

Regulación del caudal de operación a través de la válvula de mariposa.

c) Procedimiento de evaluación

El control del funcionamiento del dispositivo de regulación se realizará por medio de la evaluación de cada una de sus partes durante la operación. Esta evaluación consiste en:

- Lavar el filtro en la forma convencional, llenar con agua y cambiar la posición del selector de funcionamiento del filtro a la posición de parada.
- Verificar que la válvula de regulación se encuentre completamente cerrada.
- Leer en el piezómetro y el dispositivo indicador las pérdidas de carga correspondientes a fin de realizar la regulación de ellos durante la operación.
- Poner en marcha el filtro y observar la variación de apertura de la válvula de filtración en relación con el nivel de agua en la caja del filtro.
- Si el nivel de agua en la caja del filtro comienza a disminuir bruscamente, es señal de que la válvula de filtración no funciona correctamente.
- Una vez estabilizadas las variaciones de apertura de la válvula, que duran aproximadamente 15 minutos después de la puesta en marcha, señalar la posición de apertura. Esta será la posición inicial de apertura de la válvula.
- En la puesta en marcha se debe verificar el nivel de agua en el piezómetro conectado al captador de presión de nivel, cuyo eje se encontrará a 0,25 metros por debajo del nivel del agua si todo el sistema de regulación está calibrado.
- El funcionamiento de este dispositivo de regulación será eficiente si durante el funcionamiento del filtro el nivel de agua en el captador o el nivel del agua en el filtro se mantiene constante y la válvula de regulación se va abriendo lentamente a medida que se produce el atascamiento del filtro; es decir, perdiendo la carga disponible que tenía inicialmente.

- Una vez que se haya consumido toda la carga creada en la válvula, el valor de la pérdida de carga leída en el piezómetro debe ser igual al valor de la carga hidráulica disponible, medido entre el nivel de agua de la caja del filtro y el eje de la válvula de filtración o de la arqueta de agua.
- Si existe un medidor de caudal de agua filtrada, el caudal se debe determinar cada hora, con lo cual también se puede determinar la variación de la apertura de la válvula.
- La determinación de caudal para cada variación apreciable de apertura de válvula también permite determinar la velocidad o tasa de filtración.

Cuadro 4-11. Formato de evaluación del regulador válvula mariposa de accionamiento electroneumático (1)

Tiempo de operación (h)	Pérdida de carga		Apertura de la válvula de filtración	Caudal de agua filtrada (m ³ /s)	Altura de agua en el filtro (m)	Turbiedad residual (UNT)
	Piezómetro hf (cm)	Dispositivo electrónico hf (cm)				

d) Conclusiones

Para un caudal de alimentación constante, hay un atascamiento del filtro, que indica una pérdida de carga y variación de la velocidad de filtración, por lo que es necesario que la pérdida de carga artificial creada a la salida (en el dispositivo de control) sea inversamente proporcional al atascamiento.

3.3 Cloración

La desinfección es el proceso final de la planta de tratamiento; en nuestros países normalmente se realiza por medio de la dosificación de cloro en solución al

agua filtrada, con la finalidad de alcanzar las características bacteriológicas establecidas para el consumo humano.

Los ensayos que se realizan para evaluar estas unidades son los siguientes:

- Tiempo real de contacto.
- Dosis de cloro aplicada.
- Características del sistema de aplicación.
- Características de la caseta de cloración.

Cada uno de estos ensayos se encuentra descrito en el capítulo 3.

REFERENCIAS

- (1) Programa HPE/CEPIS/OPS de Mejoramiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. “Procesos. Tecnología importada”. En *Manual IV: Evaluación*. Lima, CEPIS/OPS, 1992.
- (2) Canepa de Vargas, Lidia. Fotos y proyectos de archivo personal. Lima, CEPIS, 2004.
- (3) Maldonado, Víctor. Fotos y proyectos de archivo personal. Lima, FIA/UNI, 2004.
- (4) Programa HPE/CEPIS/OPS de Mejoramiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. “Procesos. Tecnología convencional”. En *Manual IV: Evaluación*. Lima, CEPIS/OPS, 1992.
- (5) Mintz, D. M. *Modern Theory of Filtration*. Séptimo Congreso de la International Water Supply Association. Barcelona, 3-7 de octubre, 1966.
- (6) Degremont. *Manual técnico del agua*. Cuarta edición. Buenos Aires, Degremont, 1979.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Arboleda, J. *Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua*. Serie Técnica 13. Lima, CEPIS, 1973.
- Hudson, H. E. *Water Clarification Process Practical Designs and Evaluation*. Nueva York, Van Nostrand, 1981.