

CAPÍTULO 8

FILTRADO (REMOCIÓN DE SÓLIDOS)

Introducción

Los recursos de agua para riego por goteo/microaspersión incluyen aguas municipales, reservas, ríos, canales y aguas subterráneas. Los contaminantes sólidos incluyen material inorgánico como arena, limo y arcilla; de crecimiento acuático como algas y peces; y basuras tales como botellas plásticas, malezas cortadas, semillas de malezas y trapos. Las razones para la remoción de sólidos incluyen:

- Desgaste de la bomba. La arena y otros materiales inorgánicos abrasivos pueden ocasionar desgastes serios en los impulsores y en los tazones de las bombas, lo cual redunda en reducción de las eficiencias en las plantas de bombeo y en menor cantidad de agua entregada por las bombas.
- Obstrucción de emisores. Los sistemas de riego por goteo/microaspersión tienen orificios de salida mucho más pequeños que los sistemas de aspersión, con diámetros que oscilan entre 0,3 mm y 1,8 mm (0,01" y 0,07"). Una regla general empírica es que en la industria del riego por goteo/microaspersión todas las partículas mayores que 1/10 del diámetro de los orificios de emisión deben ser removidas del agua para prevenir obstrucción de los emisores por "formación de puentes" (ver Figura 27). Por consiguiente el filtrado en sistemas de goteo debe remover partículas hasta de 0,03 mm - 0,18 mm (0,001" - 0,007") de diámetro. En el caso de microrociadores cuyos orificios son simples y de mayor tamaño, se considera suficiente la remoción de partículas de 1/7 del diámetro del orificio.

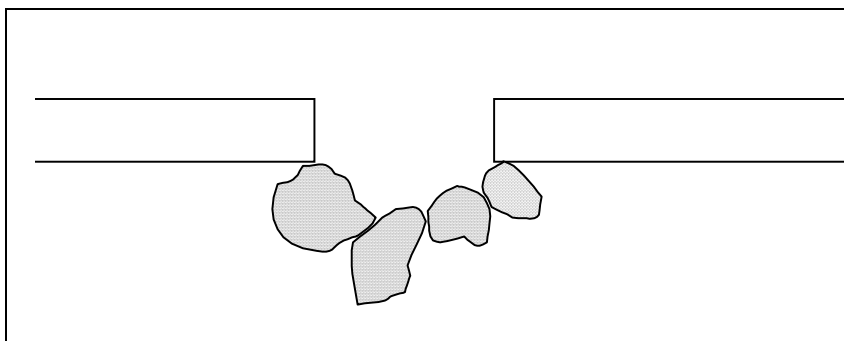


Figura 27. Las partículas pequeñas pueden tender un puente sobre un orificio de mayor tamaño.

- Otras. Los sólidos de gran tamaño pueden taponar válvulas e impedir su operación adecuada. Los sólidos pueden acumularse dentro de las tuberías y llenar completamente los extremos de las mismas. Además, las partículas de arcilla contienen nutrientes, los cuales alimentan las bacterias que crecen

dentro de las mangueras de goteo y dentro de los emisores. Eventualmente esas colonias de bacterias pueden obstruir los emisores. En algunas aguas es necesario remover las semillas de malezas para prevenir la proliferación de malezas a través del riego.

Hay 8 tipos básicos de filtrado usados en riego agrícola para la remoción de sólidos. Además hay muchas variaciones de ellos. Las configuraciones básicas son:

- Embalses. Estos actúan como lagunas de sedimentación para arena y limo y, como en el caso del bajo río Colorado en Estados Unidos, han resultado ser muy efectivos en pre-tratamiento de sistemas de goteo que usan dichas aguas. Las desventajas que tienen son: introducción de material orgánico, ocupan área que de otra manera sería utilizada en producción y, por otra parte tienen problemas de mantenimiento.
- Pre-filtrado con mallas. Remueve contaminantes de gran tamaño los cuales pueden causar atascamientos o retrolavados excesivos de los filtros aguas abajo. Ejemplos incluyen mallas de tipo banda transportadora rotativa y mallas cilíndricas autolimpiables para succión en bombas.
- Separadores de arena. Estos usan la acción centrífuga del agua que gira para remover la arena y son muy efectivos si su tamaño se selecciona en forma apropiada y si los caudales permanecen relativamente constantes. Se fabrican modelos para acondicionarse bien sea antes o después de las bombas.
- Filtros de arena. Grandes caudales se pasan a través de tanques de arena para remover grandes volúmenes de contaminantes orgánicos e inorgánicos. La arena se selecciona por tamaño de partículas para proveer el grado deseado de filtrado y es retenida dentro del tanque por medio de un dren subyacente localizado en el fondo del mismo. Los tanques se retrolavan uno a la vez. Con controles automáticos más bien rústicos se determinan los ciclos de retrolavado en base al tiempo transcurrido o por diferencia de presiones a través de los tanques.
- Mallas tubulares. Proporcionan un filtrado de emergencia de baja capacidad. Se usan como complementarios a los dispositivos de filtrado primarios, o en condiciones de aguas muy limpias.
- Mallas de desbordamiento por gravedad. Las mallas de gravedad proporcionan filtrado primaria de alta capacidad. Usualmente son autolavables. El agua hace una cascada sobre una malla de tamiz fino bien ajustada. Los contaminantes son lavados hacia el borde de la malla y luego el agua limpia pasa a través de la malla hacia una cámara más baja desde donde se toma por medio de una bomba impulsora y se entrega al sistema de goteo.



Figura 28. Malla de succión rotativa, autolimpiable. Fotografía cortesía de Lakos Filtration.



Figura 29. Separador de arenas.

- Filtros de disco. Son un híbrido entre un filtro de arena y una malla tubular. Estos filtros son como un juego de discos circulares; cada disco tiene un patrón de hendiduras transversales a una profundidad adecuada para

proporcionar el filtrado requerido. El agua debe pasar entre los discos; las hendiduras permiten el paso del agua, pero retienen los sólidos. Estos filtros, en especial aquellos de modalidades de lavado automático, son relativamente nuevos en los mercados de riego por goteo en los Estados Unidos.



Figura 30. Filtros de arena. Fotografía cortesía de Yardney.



Figura 31. Malla de filtrado por gravedad. Fotografía cortesía de Lako Filtration.

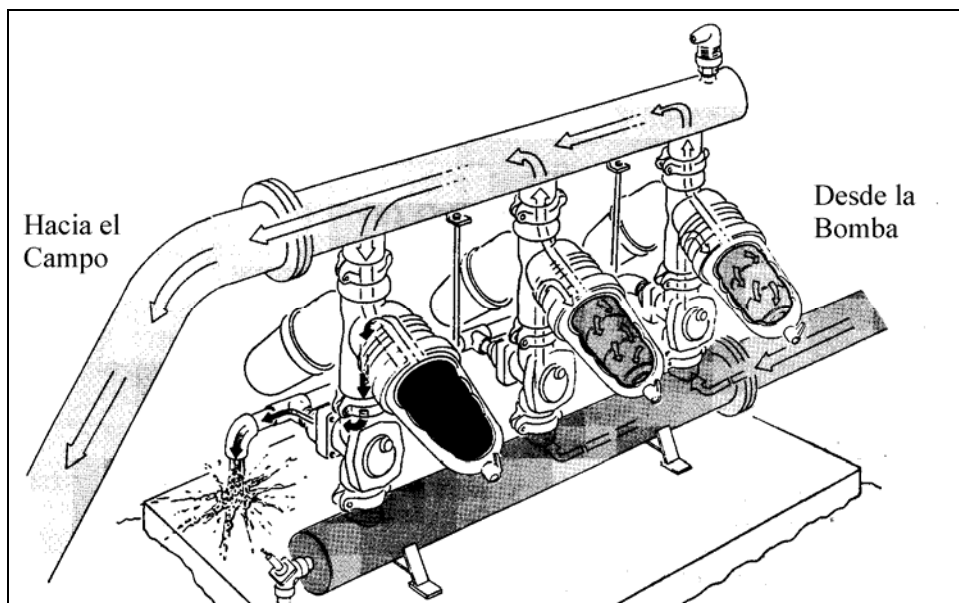


Figura 32. Filtros de discos. Esquema cortesía de Arkal Filters.

- Filtros de malla tubular de lavado rotativo. Estos filtros de malla deben automatizarse para limpiar frecuentemente la pequeña área superficial de filtrado.

Embalses

Hay varias razones de importancia para que algunas veces se usen embalses antes de los filtros principales en sistemas de riego por goteo/microaspersión:

1. Como amortiguador de caudal. Un amortiguador es deseable porque:

Las descargas de una bomba para pozo profundo pueden cambiar cada hora (debido al cambio en los abatimientos del pozo).

Las entregas en un distrito de riego pueden fluctuar cada hora debido a cambios en las presiones de la línea del distrito o en los niveles de agua en los canales.

Los requerimientos de caudal de un sistema de goteo pueden no ser constantes con el tiempo y sin embargo la fuente de agua puede solamente ser capaz de proporcionar un caudal constante. Los caudales de un sistema de goteo pueden cambiar cada hora porque:

- Bloques de diferentes tamaños se riegan a diferentes tiempos.
- Durante el retrolavado de los filtros, el sistema de goteo necesita suficiente agua para los emisores y el retrolavado.

Los regadores pueden querer almacenar entregas de agua (de pozos profundos o de distritos) y bombear al sistema de micro riego solo durante las horas no pico para así lograr una mejor tarifa eléctrica por bombeo.

2. Para permitir aireación del pozo de agua, de tal manera que el manganeso y el hierro se oxiden y se precipiten.
3. Como una laguna de sedimentación para retirar del agua partículas en suspensión.
4. Si la descarga de un pozo contiene aire atrapado (lo cual puede suceder si el nivel de bombeo en el pozo ha decaído de tal manera que esté cerca al nivel de entrada de agua a la bomba), el aire es removido cuando el agua se descargue al embalse.
5. Para permitir que el aceite presente en el agua sea “extraído” o para permitir que la entrada a la bomba del sistema de riego por goteo/microaspersión sea localizada bastante debajo de la superficie del agua. La contaminación por aceites o lubricantes ocasionará que casi todo filtro se obstruya rápidamente. Las mallas requieren ser limpiadas con un solvente y a menudo la arena de los filtros debe ser reemplazada por completo. La solución definitiva a los problemas de aceite es generalmente la eliminación de este en su origen.

En los casos en donde el abastecimiento de agua tenga más de 200 ppm de sólidos en suspensión, se recomienda una laguna de sedimentación antes de los filtros regulares. Grandes cantidades de sólidos en suspensión sobrecargan rápidamente los filtros, lo cual conduce a retrolavado excesivo. Los elementos claves de diseño de una laguna de sedimentación son:

1. La toma de agua desde el embalse (es decir, la entrada de agua al sistema de riego por goteo/microaspersión) debe localizarse tan lejos de la entrada de agua al embalse como sea posible.
2. Si el agua de retrolavado se devuelve al embalse, el punto de retorno debe también localizarse tan lejos como sea posible de la entrada al sistema de riego (es decir, de la bomba).
3. Se requiere que el embalse se pueda limpiar; es decir, debe diseñarse para permitir el acceso de equipo y el drenado completo para mantenimiento.
4. El sistema de riego debe tomar agua de la superficie del embalse, en lugar de tomarla cerca al fondo, en cuanto sea posible.
5. Un embalse largo y angosto es más efectivo en la remoción de sólidos en suspensión que uno de forma cuadrada.

La velocidad a la cual los sólidos en suspensión se sedimentan varía directamente con su diámetro, para una misma gravedad específica. La Tabla 31 proporciona información relacionada con tamaños de partículas y velocidades de sedimentación. Las velocidades de sedimentación están basadas en una gravedad específica de 2,65.

Tabla 31. Tamaños de partículas y tamices y velocidades de sedimentación.

Textura del Suelo	Tamaño de Partícula			Velocidad de Sedimentación	
	mm	Micrones	pulgadas	m/min	pies/min
Arena gruesa	> 0,50	> 500	> 0,02	> 38	> 126
Arena media	0,25 - 0,50	250 – 500	0,01 - 0,02	22 *	71
Arena fina	0,10 - 0,25	100 – 250	0,004 - 0,01	5 *	16
Arena muy fina	0,05 - 0,10	50 – 100	0,002 - 0,004	0,9 *	2,8
Limo	0,002 - 0,05	2 – 50	0,00008 - 0,002	0,015 *	0,05
Arcilla	< 0,002	< 2	< 0,00008	0.00006 *	< 0,0002

*valores promedios

De acuerdo con la Tabla 31, el tiempo que tarde en caer 1 metro (3 pies) una partícula de limo de tamaño “promedio” a través del agua, se calcula como:

$$\text{Tiempo} = (\text{Distancia Total}) / (\text{Velocidad de Sedimentación})$$

$$\text{Tiempo} = 1 \text{ m} / [(0,015 \text{ m/min})] \cong 67 \text{ min}$$

La Tabla 31 indica que el tiempo de sedimentación para partículas de arcilla es tan grande que no resulta práctico tratar de removerlas por sedimentación. De igual manera, los sistemas de filtrado mecánico (mallas y filtros de arena) usados en agricultura no remueven partículas de arcilla; el diseño del sistema hidráulico y el programa de mantenimiento deben asumir entonces que las partículas de arcilla se moverán hacia el sistema de riego por goteo y allí se mantendrán en suspensión hasta que salgan a través de los emisores.

Si la entrada a la bomba del sistema de riego por goteo se localiza cerca al fondo del embalse o laguna, se requerirá mayor tiempo de retención que cuando dicha entrada está cerca a la superficie de la laguna.

Además de dejar un área de terreno fuera de producción, los embalses proporcionan siempre un dolor de cabeza para el mantenimiento debido al crecimiento de algas, a la infiltración y a la introducción de basuras arrastradas por el viento. No obstante, estos problemas son compensados con la disminución en los requerimientos de remoción de sólidos, de aire entrapado o de hierro/manganeso.

Hay una gran gama de productos químicos capaces de eliminar algas en los embalses. Algunos de ellos son también tóxicos para los peces. Debe tenerse especial cuidado cuando se utilizan compuestos de cobre porque el cobre corroe los accesorios y tubos de aluminio. Por otra parte, deben cumplirse siempre las normas sobre aplicación de herbicidas y otros productos químicos a los embalses.

Pre-Filtrado

Las partículas grandes de basura, (plantas acuáticas, botellas, peces, filamentos de algas) deben ser sometidas a pre-filtrado en la superficie de los abastecimientos de agua antes de los sistemas de bombeo y de filtrado. El tipo de pre-filtrado requerido depende del tamaño, cantidad y tipo de basuras, así como también del tamaño de los impulsores de la bomba. El reto más importante en el pre-filtrado es el tiempo de remoción de las basuras de los dispositivos usados en el pre-filtrado, una vez que hayan sido atrapadas.

Rejillas de Barras Simples (Enrejados para Basuras)

Una rejilla simple con barras convenientemente espaciadas, verticales o inclinadas, puede ser suficiente para atrapar basuras, si solamente hay una pequeña cantidad de estas y si la rejilla es de gran tamaño. La rejilla debe tener un área suficientemente grande como para que la velocidad del agua a través de ella sea menor de 0,61 m/s (2 pies/s). Si hay peces en el agua, la velocidad de entrada debe ser menor de 0,15 m/s (0,5 pies/s). Si el agua contiene basuras de gran tamaño, estos enrejados simples se obstruirán rápidamente.

Mallas de Láminas Planas de Acero Perforadas

En Grand Junction, Colorado (Estados Unidos), la USBR desarrolló un nuevo diseño de malla para remover basuras de gran tamaño del agua de un canal antes de que esta entre a las tuberías. Utilizaron una lámina de acero larga con la misma inclinación del talud del canal (2,5:1 de talud) para cubrir la entrada a la tubería. La lámina de acero de 6,4 mm (1/4") se perfora con orificios redondos de 19 mm (3/4") en tresbolillo. Este tipo de malla ha mostrado ser mucho más efectiva que la rejilla de barra simple. En lugar de tener que limpiar la rejilla diariamente, los trabajadores solo limpian la malla de lámina una vez por semana.

Bandas de Malla Rotativas Autolimpiables

El diseño Básico de estas bandas se ilustra en la Figura 33. La malla es flexible y es similar a una banda transportadora. La malla gira una determinada distancia en un intervalo fijo de tiempo, o en respuesta a una diferencia de niveles de agua en cada lado de la malla. La basura cae de la banda cuando esta gira en el tope, si la banda de malla está inclinada; una boquilla rociadora localizada en la brecha entre la banda ayuda a remover la suciedad. Las unidades se pueden fabricar localmente y son efectivas en la remoción de partículas de diámetro mayor que 13 mm - 25 mm (1/2" – 1"). Las mallas de este diseño no remueven arena.

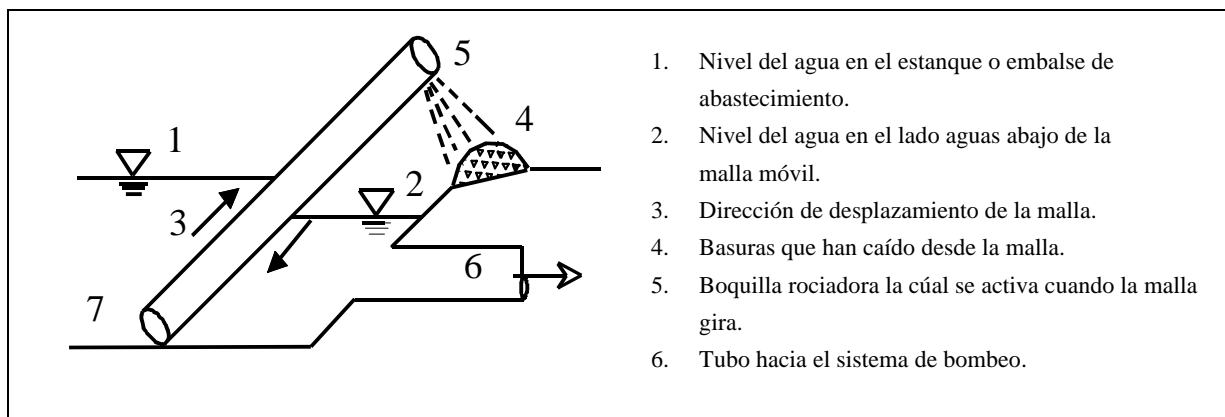


Figura 33. Diseño de bandas de malla autolimpiables.

Mallas Rotativas Autolimpiables

Las mallas cilíndricas rotativas autolimpiables están diseñadas para remover grandes cantidades de arena y de material orgánico del agua antes de que esta entre a la bomba y al filtro primario. Típicamente se instalan semisumergidas en un embalse o canal y hacia la entrada del tubo de succión de la bomba. Son relativamente pequeñas, con diámetros hasta de 76 cm (30") para caudales de 158 LPS (2.500 GPM). Para que la malla sea efectiva, los materiales atrapados en ella deben ser removidos rápidamente y no deben retornar de inmediato pues pueden volver a obstruirla.

Todas estas mallas utilizan algún tipo de boquilla rociadora ensamblada dentro de la malla para asperjar hacia afuera y sacar las basuras fuera de la superficie de la malla. Para operar los rociadores se deriva parte del agua de riego presurizada. Estas mallas pueden tener la mayor efectividad si se localizan en una corriente de agua la cual pueda llevar las basuras desalojadas un poco más lejos aguas abajo.

Hay dos variaciones primarias en el diseño:

1. La malla es estacionaria y el ensamblaje del rociador gira.
2. La malla gira y el rociador es fijo. Con este diseño las boquillas lanzan las basuras fuera de la malla en una dirección designada.

Mallas de Desbordamiento por Gravedad

Las mallas de gravedad se usan tanto como un dispositivo filtrador primario, como para pre-tratamiento. El diseño básico puede observarse en la Figura 34. El agua fluye dentro de un tanque y a través de un vertedero sobre una malla horizontal (o ligeramente inclinada) de tamiz fino (típicamente de tamiz alrededor de 150). Las varillas rociadoras ayudan a girar continuamente y asperjan hacia arriba y a través de la malla, empujando las basuras hacia el extremo distante de la malla. La porción del tanque encima de la malla está equipada con una tapa con bisagras para contener

el rocío y dirigir el agua hacia el área de la malla. Esta tapa debe levantarse y las basuras deben removerse en forma manual aproximadamente una vez al día.

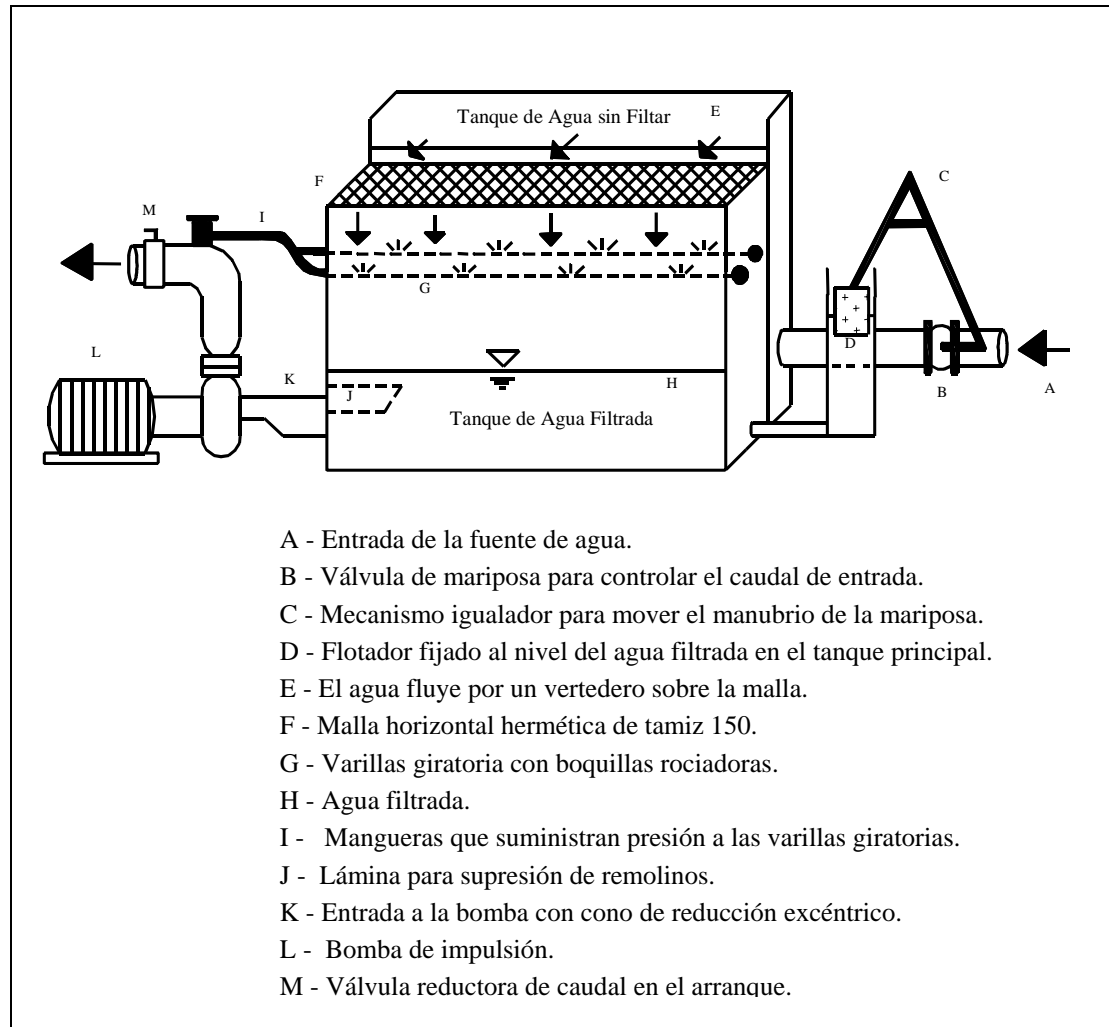


Figura 34. Filtro de malla con rebosamiento por gravedad.

La malla se lava continuamente por la vibración de la misma como resultado del agua que cae, más la acción de las varillas rociadoras. La basura queda tendida sobre la malla y no queda bajo presión. Por consiguiente, este tipo de malla no empuja hacia afuera la basura a través de sus aberturas, como sí lo hace una malla presurizada tubular. La malla puede manejar cargas muy altas de basura.

Las mallas de gravedad pueden instalarse bien sea aguas arriba o aguas abajo de la bomba, dependiendo de si el agua es o no abastecida bajo presión. Si la fuente de agua que ingresa está ya presurizada, tal presión se perderá porque el agua debe caer libremente a través del vertedero y sobre la malla.

La operación de estas mallas resulta una complicación de importancia, que consiste en igualar el caudal que ingresa desde la fuente, con el caudal de salida de la bomba.

Debido a que hay una entrada de aire en algún punto en el sistema, debe haber un dispositivo automático de control de flujo. En la Figura 34 el dispositivo de control de flujo está sobre el tubo de entrada a la malla. Consiste en una válvula de mariposa unida a un flotador, el cual está montado sobre el mismo nivel de agua que el del tanque de agua filtrada. En la medida en que haya presión en exceso disponible en el tubo fuente, la válvula de mariposa regulará su posición para mantener constante el nivel de agua filtrada. Esto es, previene que ingrese mucho caudal a los tanques del filtro.

En otras instalaciones se obtiene el flujo por gravedad dentro del tanque, desde algún tipo de tubo vertical de abastecimiento de agua provisto de una válvula de mariposa moduladora unida a la descarga de la bomba. Si el flujo dentro del tanque es insuficiente para igualar la descarga de la bomba, la descarga de la bomba se reduce. Este tipo de control no se recomienda porque ocasiona déficit de agua en el sistema de riego y afecta en forma adversa la UD del sistema. Sin embargo, esta segunda válvula es algunas veces necesaria porque al prender el sistema la presión en la bomba es baja. No habrá presión suficiente para operar las varillas rociadoras y la malla se llenará de suciedad y se presentará desbordamiento. Típicamente es necesario “estrangular” la descarga de la bomba para reducir su caudal hasta que el sistema de riego se llene de agua.

Nótese que en la Figura 34, las varillas rociadoras están por encima de la altura del agua filtrada en el tanque del filtro. Las varillas rociadoras son abastecidas de agua desde la descarga de la bomba de reimpulsión. También, debe haber un hueco abierto en el lado del tanque de agua filtrada (encima del nivel del agua) para permitir escape de aire. Si se entrapa aire bajo la malla de tamiz fino, puede ocurrir que el agua no fluya a través de la malla.

Puede presentarse también un problema de remolino y que quede aire atrapado en el tubo de succión de la bomba si este es de pequeño diámetro y si el nivel del agua filtrada cae demasiado. Este problema puede minimizarse utilizando una placa de supresión de remolinos dentro del tanque, la cual se muestra en la Figura 34 como una platina metálica que se extiende como un “tejado” por encima de la salida del tanque.

Los filtros de gravedad deben ser instalados en superficies muy planas para prevenir que toda el agua se concentre en un lado de la malla. Tal como ocurre con filtros de arena, resulta mucho más fácil instalar y operar muchas unidades paralelas pequeñas que una pocas unidades de gran tamaño.

A pesar de que el funcionamiento de estos filtros es de fácil comprensión y también es fácil su operación, los procedimientos frecuentes de limpieza y mantenimiento, usualmente introducen algo de suciedad dentro del lado “limpio” de las unidades. También, la acción rociadora de las varillas y el desbordamiento de alguna cantidad de agua, generalmente crean una condición de humedad en el suelo alrededor de los

filtros, aún cuando ello no representa una cantidad significativa de agua (menos del 1%).

Los filtros de gravedad constituyen unos dispositivos de pre-tratamiento excelentes para filtros de arena en situaciones en las cuales el agua es demasiado sucia, puesto que ellos pueden manejar grandes cargas de arena y de basuras orgánicas sin necesidad de retrolavado. En esta forma, los filtros de arena son capaces de hacer un trabajo efectivo en el filtrado del agua.

Separadores de Arena por Acción Centrífuga

Los separadores de arena utilizan acción centrífuga para separar del agua arenas y otras partículas pesadas (de gravedad específica mayor que 1,5 gm/cm). Su diseño crea una acción de giro del agua, el cual hace que los sólidos pesados caigan hacia la parte inferior y sean recolectados en una cámara localizada en la base de la unidad. La Figura 35 ilustra dos configuraciones diferentes. Estos separadores no son efectivos en la remoción de los diferentes tipos de contaminantes orgánicos, los cuales deben filtrarse antes de usar el agua en la mayoría de los sistemas de riego por goteo/microaspersión.

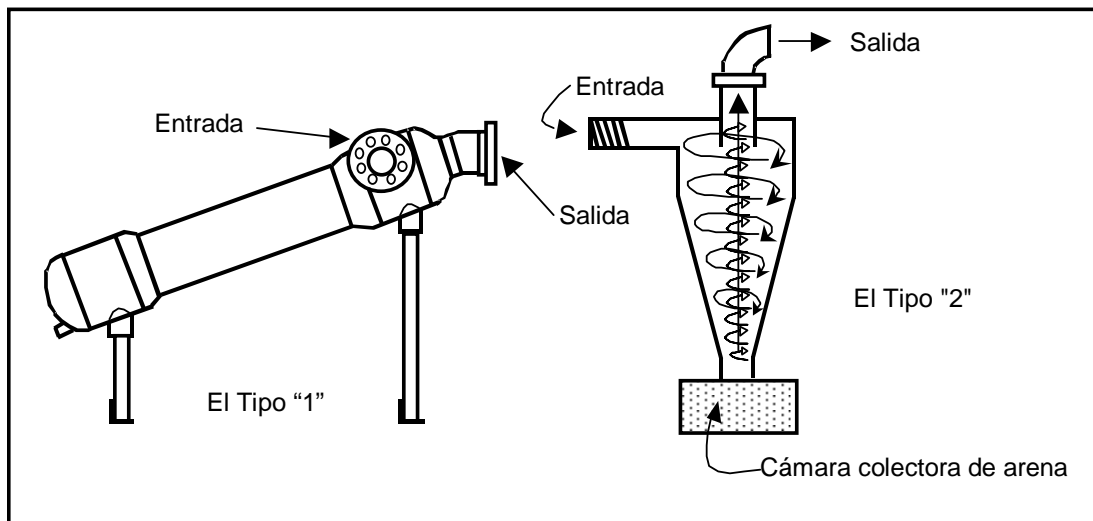


Figura 35. Dos diseños diferentes de separadores de arena por acción centrífuga. El Tipo "1" es más común en los Estados Unidos. El tipo "2" con frecuencia es llamado "separador hidrociclón".

Los separadores de arena son muy simples ya que no poseen partes móviles, a menos que se instale una válvula de purga en la base de la cámara de recolección. Las unidades bien diseñadas son capaces de remover más del 70% - 95% de las partículas de alta densidad con diámetros mayores que el tamaño del tamiz 200. Algunos agricultores usan una regla empírica, según la cual, los separadores de arena solamente removerán partículas que se sedimenten en una jarra dentro del término de

15 segundos. La cámara de recolección debe drenarse con suficiente frecuencia de manera tal que no llegue a bloquearse con los sólidos removidos del agua. En condiciones de aguas extremadamente sucias, es mejor permitir que la cámara de recolección drene continuamente para evitar taponamiento.

El aspecto más importante que debe tenerse en cuenta en el diseño de un sistema con instalación de separadores de arena, es que a través de estos debe fluir el caudal correcto para su normal funcionamiento. El caudal correcto corresponde a una caída de presión de 34 kPa - 76 kPa (*5 psi - 11 psi*), como se indica en la Figura 36. Si el caudal se reduce demasiado (indicado por una caída de presión superior al rango permisible para el separador seleccionado), no habrá suficiente fuerza centrífuga para remover los sólidos de elevada gravedad específica. Este es un dispositivo de filtrado para el cual la regla que afirma que “entre más grande mejor”, no tiene aplicación. Otro punto que debe estar claro, es que la pérdida de presión a través de un separador de arena permanece constante con el tiempo, si el caudal es constante. Esto contrasta con los filtros de arena, de discos y de malla tubular, en los cuales ocurre una caída de presión creciente a medida que ellos se van llenando de suciedad. Sin embargo, los separadores de arena deben estar seguidos de un filtro de malla para capturar el 5% - 30% de la arena no removida. Dicha malla tendrá caída de presión con el tiempo y deberá tener servicio de mantenimiento.

En los sistemas de riego se pueden presentar problemas relacionados con la sensibilidad de los mismos en términos de caudal efectivo, cuando hay variación de caudal. Si por ejemplo, un bloque de 4 hectáreas (*10 acres*) de árboles se riega algunas veces y en otras se riegan dos bloques del mismo tamaño cada uno, los separadores de arena siempre serán muy grandes para una situación o muy pequeños para la otra. La única solución será contar con dos separadores en paralelo, y bloquear uno de ellos cuando se esté regando un solo bloque de árboles.

La instalación de los separadores de arena puede tener un diseño especial por medio del cual se colocan dentro de un pozo al lado de la succión de la bomba. Aunque estos modelos son ligeramente menos eficientes que los modelos colocados sobre la superficie del terreno, pueden reducir substancialmente el desgaste de los impulsores de las bombas y de los tazones, además de la protección que brindan al sistema de riego.

Los separadores de arena no pueden remover toda la arena y no son muy efectivos si la arena de un pozo viene en chorros, o durante el encendido de la bomba cuando se descargan grandes cantidades de arena desde un pozo. Por consiguiente, en sistemas de riego por goteo/microaspersión, los separadores de arena deben estar siempre seguidos por una malla u otro filtro. En algunos casos son usados como dispositivos de pre-tratamiento para filtros de arena. En condiciones de elevadas cargas de arena, en las cuales la arena sea extremadamente dura y abrasiva, si se ha instalado una malla tubular típica aguas abajo del separador, el interior de esta malla puede ser destruido en unos pocos días de operación. En estas condiciones debe hacerse un diseño especial con malla o con filtro de arena.

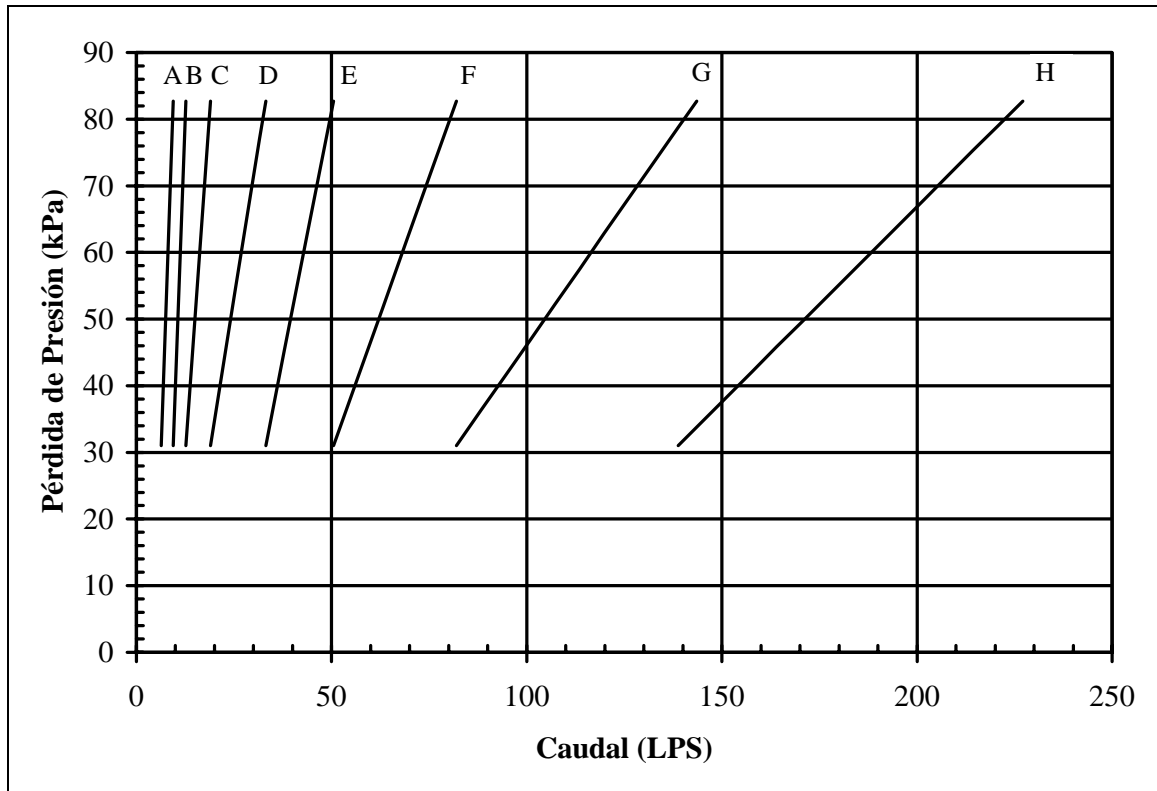


Figura 36. Curvas típicas de pérdida de presión versus caudal para varios tamaños de separadores de arena.

Filtros Tubulares de Malla

Los filtros tubulares de malla convencionales son útiles en aguas muy claras, si se mantienen frecuentemente. Sus superficies de dos dimensiones tienen una capacidad pequeña de almacenamiento de basuras, de tal manera que son utilizados como dispositivos complementarios luego de que los filtros primarios han removido casi el total de la carga de suciedad.

A medida que el material de la malla se va cubriendo de basuras durante la operación, la diferencia de presión a través de la malla se va incrementando. Esto conduce a dos resultados:

1. Si la diferencia de presión se hace suficientemente grande, la malla se romperá.
2. El tejido del tamiz puede expandirse y permitir que partículas de gran tamaño sean “empujadas” a través del tejido.

Las mallas pueden limpiarse manual o automáticamente. Hay enormes variaciones en diseño, costo y confiabilidad de mecanismos de retrolavado. La remoción efectiva de las partículas finas del tejido requiere alguna acción más allá del golpe del agua contra el tubo de malla rígida. Algunos filtros tienen un tejido de malla que “se agita” durante el lavado para incrementar la efectividad. Hay diseños que utilizan no

solo lavado por medio de flujo de agua a través de la malla, sino también retrolavado con agua proveniente de otros filtros limpios. Más aún, otros diseños tienen incorporado un mecanismo giratorio de vacío, el cual fricciona rápidamente el lado interior del tejido de malla durante el retrolavado.

Los diseños de filtros con mallas deben permitir una remoción fácil del elemento de malla filtrante para su inspección y limpieza. Los diseños deben hacerse de tal manera que los contaminantes no caigan desde la malla al puerto de salida de la caja de la malla. En este sentido, los tanques de malla verticales han resultado ser muy pobres.

Debido a la necesidad de inspeccionar frecuentemente las mallas, se recomienda utilizar modelos con tapas que se suelten lentamente, las cuales empiecen a rociar/gotear agua si se abren bajo presión. Las tapas con mangos para abertura rápida pueden explotar si se abren bajo presión.

Los filtros de cartucho no se usan extensivamente en sistemas de riego por goteo/microaspersión, debido a su tamaño pequeño y la necesidad de servicio de mantenimiento muy frecuente.

Filtros de Arena

Introducción

Los filtros de arena son tanques a presión, los cuales se llenan con algún tipo de arena con gradación de partículas. Se conocen también como “tanques de arena”. La Figura 37 ilustra los dos procesos importantes llevados a cabo por los filtros de arena: filtrado y retrolavado.

La mayoría de los filtros de arena usados en agricultura son del tipo vertical en lugar de horizontal. La arena es retenida en el tanque por un dren subyacente, el cual tiene orificios pequeños que no permiten la salida de las partículas de arena, aunque si permiten que el agua limpia pase hacia el sistema de riego. La entrada al interior del tanque está equipada con algún tipo de platina difusora cuya función es esparcir uniformemente el agua que ingresa sobre el lecho de arena. La dirección del flujo de agua se invierte cuando el tanque es retrolavado.

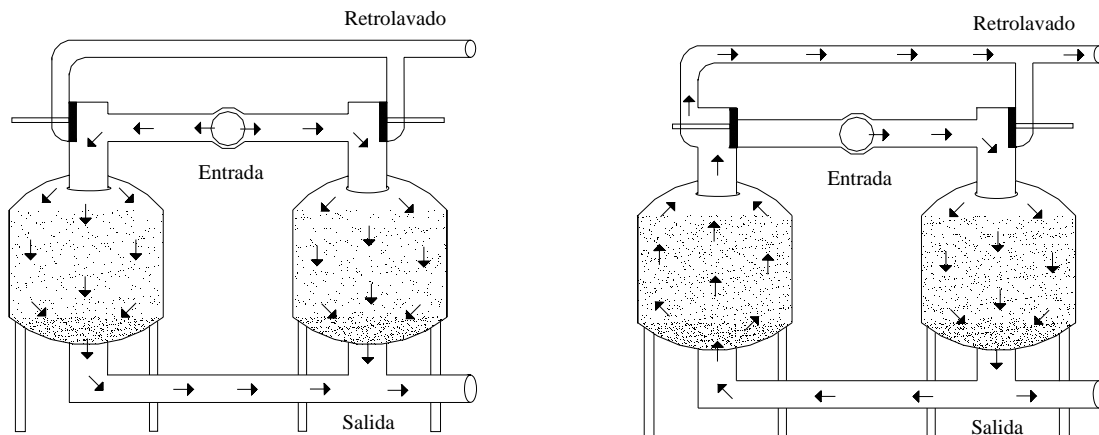


Figura 37. Procesos de filtrado y retrolavado en filtros de arena. Esquema cortesía de Yardney.

Siempre se utilizan por lo menos dos tanques de filtros de arena. En un sistema de dos tanques, la mitad del agua va a cada tanque; en un sistema de tres tanques, un tercio del agua fluye a través de cada tanque. Solamente un tanque es retrolavado a la vez y para ello se usa agua limpia proveniente del otro tanque (u otros tanques). Los tanques son retrolavados en forma secuencial a intervalos de tiempo prefijados o cuando quiera que la arena se ensucie lo suficiente como para crear una diferencia grande entre las presiones de entrada y salida.

Los tanques típicamente vienen con diámetros de 30 cm (12") a 122 cm (48"). Para caudales muy altos lo usual es instalar en paralelo muchos tanques de 122 cm (48") de diámetro.

El funcionamiento de los filtros de arena es afectado enormemente por la eficiencia en el retrolavado. Esto puede entenderse al comparar diez marcas diferentes de tanques, o aún más, diez marcas idénticas con diez instaladores diferentes. Asuma que todos los tanques son del mismo tamaño, llenos con la misma clase de arena y que están filtrando agua de la misma calidad y con caudales iguales. Inicialmente todos ellos filtrarán el agua casi igualmente bien. Habrá alguna diferencia debida al diseño del difusor de entrada, pero básicamente, el agua pasará hacia superficies idénticas de lechos de arena con la misma área de filtrado. La misma cantidad de basura será retenida por la arena en cada tanque.

Con el tiempo, se desarrollarán capacidades diferentes de filtrado entre marcas e instalaciones. Estas diferencias se deben principalmente a factores relacionados con el retrolavado. Un retrolavado adecuado, requiere un diseño adecuado del dren subyacente, de una instalación y un ajuste correctos de los filtros y de un manejo correcto del retrolavado (frecuencia, tasa y duración).

Aplicación

Los filtros de arena han sido tradicionalmente los más populares en situaciones de aguas sucias. Son excelentes para remoción de material orgánico y con frecuencia son preferidos cuando hay una “elevada” carga de suciedad de material orgánico y/o inorgánico. La profundidad del lecho de arena proporciona un proceso de filtrado de tres dimensiones en comparación con las mallas, proceso que permite mucha más capacidad de almacenamiento de basuras que las mallas. Las arcillas y los limos muy finos usualmente no son removidos por los filtros de arena usados en agricultura.

En algunas situaciones es necesario un proceso de pre-tratamiento del agua antes de entrar a los filtros de arena. Cualquier basura que ingrese a los filtros de arena debe ser lo suficientemente pequeña como para atravesar las platinas difusoras, válvulas y mecanismos de retrolavado. También, grandes cantidades de basuras de tamaño medio son removidas más efectivamente por medio de algún tipo de pre-filtrado a través de mallas o por medio de lagunas de oxidación antes del “pulimento” final del agua por los filtros de arena.

Un retrolavado efectivo requiere caudales de reflujo suficientemente grandes para levantar el lecho de arena y permitir que las partículas individuales se separen unas de otras. Con frecuencia, en cada ciclo de retrolavado son arrastradas hacia afuera muy pequeñas cantidades de arena. Podría entonces formularse la siguiente pregunta: *Los filtros de arena pueden ser usados para remover arena del agua?* También, *durante el retrolavado para remoción de esa arena, será removida toda la arena de los tanques?* La respuesta es que mientras las partículas de arena que entran al filtro sean más pequeñas y tengan menor gravedad específica que las partículas de arena del filtro, no habrá problema alguno. En los casos en los cuales las cargas de arena sean grandes o tengan características similares a las de la arena del filtro, se debe usar un separador de arena o una laguna de sedimentación antes del filtro de arena.

Selección de Tamaños de Arena

En la mayoría de los filtros de arena utilizados en agricultura hay un lecho de arena homogéneo, en contraste con los filtros industriales, los cuales pueden tener lechos estratificados. Para el mismo diámetro del tanque, los filtros industriales de lechos estratificados profundos [mínimo 152,4 cm (60”)] son diseñados generalmente para 1/3 a 1/4 del caudal que usan los filtros agrícolas y proporcionan mejor filtrado (a un costo mucho mayor). Los filtros de arena agrícolas generalmente tienen un lecho de arena de cerca de 36 cm (14”) de espesor, son operados con caudales mayores y son lavados con tal frecuencia que la mayoría de las basuras es capturada dentro de los 10 cm (4”) superiores del lecho, aproximadamente. Los filtros industriales cuyos caudales/m² (pie²) son más bajos, proporcionan un filtrado más refinado y la carga de basura se captura a través de toda la profundidad del lecho de arena.

Muchos filtros agrícolas tienen una capa de grava inmediatamente alrededor y sobre un dren de malla subyacente. En otros filtros se usa una capa de granate (silicato de

aluminio y hierro) bajo la grava triturada. El tema de capas de grava se discute en la sección sobre drenes subyacentes.

Los factores que deben tenerse en cuenta en la selección de la arena apropiada incluyen:

1. El grado de filtrado requerido, el cual se determina de acuerdo con el diseño del emisor y con el programa anticipado de mantenimiento del sistema de riego por goteo/microaspersión.
2. Cómo combinar el tipo de arena, el tamaño de partículas y los caudales por tanque, para proporcionar el grado de filtrado necesario.

El grado de filtrado necesario se basa en dos factores:

1. Desgaste del emisor
2. Obstrucción del emisor

El desgaste de los emisores se nota rara vez en emisores con rangos de caudal de 2 LPH - 8 LPH (*0,5 GPH - 2,0 GPH*), pero puede ser significativo en sistemas de microaspersión. Los limos pueden no obstruir las salidas del rociador, pero la abrasión incrementará el diámetro de salida con el tiempo, con lo cual se obtienen valores de UD muy pobres. La abrasión también alisará los lomos de las placas deflectoras y por consiguiente se distorsionarán los patrones de trayectoria. La abrasión ha sido especialmente común en sistemas que usan máquinas de inyección de yeso, las cuales son instaladas aguas abajo de los filtros.

La consideración primaria de la mayoría de los diseñadores al seleccionar un filtro es evitar la obstrucción de los emisores. Una regla empírica común es remover todas las partículas cuyo diámetro sea mayor que 1/10 del diámetro del pasadizo más pequeño de los emisores. Para rociadores, la relación utilizada es con frecuencia 1/7 si el rociador tiene un orificio corto y sencillo. Si esta regla se aplica a un emisor con un orificio de 1,27 mm (*0,050"*) de diámetro, se deben remover por filtrado todas las partículas mayores de 0,127 mm (*0,005"*).

El filtrado, algunas veces se hace referencia a un "tamaño de tamiz equivalente" de capacidad de filtrado. De acuerdo con la Tabla 32, el tamaño de tamiz equivalente de capacidad de filtrado para remoción de partículas de 0,127 mm (*0,005"*) debe ser 120 o mayor. El término "tamiz tamaño 120" proviene del uso de una malla estándar, la cual tiene 120 aberturas por pulgada lineal de malla. El tamaño del orificio de la malla (0,125 mm o *0,0049"*) es menor que 1/120 de pulgada (0,211 mm o *0,0083"*) debido al espesor del tejido de la malla.

Tabla 32. Tamaños de tamiz y aberturas equivalentes.

Tamaño de Tamiz	Tamaño de Abertura	
	mm	Pulgadas
20	0,7112	0,0280
80	0,1803	0,0071
100	0,1524	0,0060
120	0,1245	0,0049
150	0,1041	0,0041
200	0,0762	0,0030

Las reglas de 1/10 o 1/7 del diámetro, asumen que las partículas pequeñas pueden acumularse en un pasadizo y eventualmente formar un “puente” sobre el hueco, en forma similar a como los pequeños leños y matorrales taponan alcantarillas durante las tormentas. Además, los contaminantes no son esféricos; un pedazo de paja puede tener un diámetro muy pequeño y sin embargo tener una longitud significativa. Se requieren pequeñas aberturas en un filtro para capturar tales partículas sin importar la orientación que tengan al pasar a través del filtro (transversal o longitudinalmente).

No todas las partículas en una bolsa de arena son del mismo tamaño. Además, es indeseable tener un rango muy amplio de tamaños en un filtro de arena agrícola, ya que las partículas de menor tamaño pasarán a través del dren subyacente y obstruirán los emisores. En otros casos, las partículas menores de arena pueden migrar hacia abajo y taponar las ranuras del dren subyacente. El “coeficiente de uniformidad” (CU) es un índice que describe la variabilidad de los tamaños de las partículas en una muestra. El CU se define como el diámetro de partículas en mm correspondiente al 40% en peso seco retenido de la muestra, dividido por el diámetro en mm correspondiente al 90% en peso seco retenido de la misma muestra. Estos porcentajes en peso de una muestra hacen alusión a los análisis con tamices. El valor de CU = 1,0 indica que todas las partículas son del mismo tamaño. Un material uniforme tiene un CU bajo, mientras que un material de buena gradación se caracteriza por un CU alto. Durante el proceso de retrolavado, las partículas más finas tienden a migrar hacia el tope del lecho, en donde se sedimentan y proporcionan la mayoría del filtrado. El “tamaño de arena efectivo medio” se refiere al diámetro en mm correspondiente al tamiz que deja pasar el 10% de la muestra en peso seco. Partículas de este tamaño eventualmente se localizan en la superficie del lecho.

La Tabla 33 proporciona información adicional con respecto a la selección del tipo y del tamaño apropiados de arenas. Es claro que todas las arenas “#20” no proporcionan el mismo nivel de funcionamiento de un sistema. Lo que realmente es importante es el rendimiento (capacidad media de filtrado) producido por la arena. El granito triturado, la sílice triturada y la arena (redondeada) Monterrey, tienen diferentes capacidades medias de filtrado. Además por ejemplo, una arena cuya capacidad media de filtrado sea 0,075 mm a 37 (m³/h)/m² (15 GPM/ft²) tendría solo

una capacidad media de filtrado de alrededor de 0,11 mm a 61 (m³/h)/m² (25 GPM/pe²).

Tabla 33. Tamaños y tipos típicos de arenas para filtros de arena agrícolas de elevado caudal.

Número de Arena	Tipo de Medio Filtrante	Tamaño de Arena Efectivo Medio, mm	Rango de de Tamiz, No.	Capacidad Media de Filtrado [@ 37-61 (m ³ /h)/m ²], mm
12	Arena Monterrey redondeada	1,30	90 - 70	0,16 - 0,21
16	Arena Monterrey redondeada	0,65	125 - 100	0,12 - 0,15
8	Granito triturado	1,50	140 - 100	0,11 - 0,15
12	Sílice triturada	1,20	140 - 130	0,11
20	Arena Monterrey redondeada	0,50	140 - 130	0,11
11	Granito triturado	0,78 *	200 - 140	0,08 - 0,11
16	Sílice triturada	0,70 **	200 - 150	0,08 - 0,10
20 ***	Sílice triturada	0,47 *	250 - 200***	0,06 - 0,08

* La sílice triturada de 0,47 mm y el granito triturado de 0,78 mm son dos tipos de arena ampliamente usados.

** Algunos fabricantes afirman que el #11, granito triturado, proporciona una filtrado más fina que el #16, sílice triturada.

*** Si se usa una arena muy fina se debe colocar primero una capa base de granate (de tamaño efectivo medio mayor que 1,0 mm) en la base de los tanques, por encima del dren subyacente y/o empaque de grava, en un espesor de cerca de 15 cm (6"). Esto mantendrá la arena fina en el tope del lecho y prevendrá que la arena fina sea lavada hacia afuera a través del dren subyacente o que lo tapone.

Algunas personas prefieren sílice o granito triturados que arena redondeada; hay sin embargo, pros y contras. Como puede observarse en la Tabla 33, la arena redondeada puede proporcionar buena filtrado siempre y cuando se seleccione en forma apropiada. Todo medio de filtrado triturado “se consume” un poco en cada retrolavado y eventualmente se hace más y más redondo (y pequeño) con el tiempo. Por consiguiente, el medio filtrante debe reemplazarse periódicamente (con periodicidad de unos pocos años dependiendo de la frecuencia de los retrolavados). Las mejores formas de determinar cuando es tiempo de reemplazar el medio filtrante son: (1) examinar el medio filtrante por “consumo” abriendo el tanque y (2) notando si hay un incremento gradual de la caída de presión en tanques limpios.

En algunos casos los filtros de arena se instalan para remover grandes cantidades de arena del agua que ingresa a ellos. Esta arena puede tener la misma gravedad específica que el medio filtrante. Si esto ocurre, es difícil graduar el caudal de retrolavado ajustando apropiadamente la válvula, ya que el medio filtrante puede ser descargado junto con la arena filtrada. La solución generalmente es usar arena de mayor gravedad específica, granate típicamente, como medio filtrante. El granate costará entre 3 y 4 veces más que la arena regular, pero resolverá el problema.

Si continuamos con el ejemplo anterior a partir de la Tabla 32, con el fin de seleccionar un medio filtrante para un microrociador con orificio de 1,27 mm (0,050"), se deben remover partículas de 0,13 mm ($1,27 \text{ mm}/10 \cong 0,13 \text{ mm}$). Una selección típica sería el #11, granito triturado.

En resumen, un medio filtrante apropiado tendrá un CU menor que 1,5, con un tamaño de arena efectivo medio que proporcionará el grado necesario de remoción de basuras, al caudal de diseño.

Selección del Número y Tamaño de los Tanques de Filtrado

En esta sección se señalarán formas de mejorar los procedimientos de diseño "típicos", los cuales con frecuencia son utilizados en la industria. En primer término, deben anotarse algunas guías para selección del tamaño de los filtros:

1. Las platinas difusoras en la entrada interior de la mayoría de los filtros de arena no están diseñadas para dispersar uniformemente caudales elevados tales como del orden de $73 \text{ a } 86 \text{ (m}^3\text{/h)/m}^2$ ($30 \text{ a } 35 \text{ GPM/pie}^2$); $61 \text{ (m}^3\text{/h)/m}^2$ (25 GPM/pie^2) es el caudal que a menudo se considera como el máximo manejable.
2. Algunos fabricantes recomiendan un caudal mínimo de $41,5 \text{ (m}^3\text{/h)/m}^2$ (17 GPM/pie^2). Sin embargo, caudales mínimos hasta de $24 \text{ (m}^3\text{/h)/m}^2$ (10 GPM/pie^2) se aceptan generalmente si el controlador de retrolavado automático se calibra para retrolavar por lo menos una vez cada 24 horas, independientemente de la lectura de diferencia de presión y si el caudal de retrolavado se ajusta apropiadamente. Los caudales bajos proporcionan mejor filtrado que los caudales altos, pero como se mencionó anteriormente, con caudales bajos la suciedad se mueve más hacia abajo dentro del lecho de arena y no se desarrollan diferencias de presión muy elevadas aún cuando la suciedad haya migrado hacia el fondo del lecho de arena. Con el riesgo de hacer demasiado énfasis sobre este punto, es claro que la programación del tiempo de retrolavado en forma apropiada y el ajuste adecuado del retrolavado evitan problemas al usar caudales bajos.

La literatura típica sugiere el siguiente procedimiento para seleccionar el tamaño de los tanques de arena (procedimiento que será modificado en subsiguientes párrafos de este texto):

Para aguas de calidad física promedio, diseñar para $49 \text{ a } 61 \text{ (m}^3\text{/h)/m}^2$ ($20 \text{ a } 25 \text{ GPM/pie}^2$) de tasa de caudal de filtrado.

Para aguas muy sucias, diseñar para $24 \text{ a } 37 \text{ (m}^3\text{/h)/m}^2$ ($10 \text{ a } 15 \text{ GPM/pie}^2$) de tasa de caudal de filtrado.

$$A_f = \frac{Q_s}{T_{qf}}$$

donde: A_f = Área filtrante requerida, m^2 , (*pies*²)
 Q_s = Caudal del sistema de riego, m^3/h , (*GPM*)
 T_{qr} = Tasa de caudal de filtrado de diseño, $[(m^3/h)/m^2]$,
(*GPM/pie*²)

La Tabla 34 proporciona algunas especificaciones de tanques "típicos".

Tabla 34. Especificaciones para tanques "típicos" de arena de acero ordinario. Los rangos de presión están sujetos siempre al espesor del acero, calidad de la mano de obra y resistencia de las conexiones.

Configuración de los tanques			Área Filtrante		Presión Max. Típica Recomendada por Fabricantes	
No.	cm	pulgadas	m ²	pies ²	kPa	psi
2	46	18	0,32	3,5	862	125
2	61	24	0,57	6,2	862	125
2	76	30	0,91	9,8	758	110
2	91	36	1,31	14,2	689	100
2	122	48	2,32	25,0	552	80
3	122	48	3,48	37,5	552	80
4	122	48	4,64	50,0	552	80
5	122	48	5,80	62,5	552	80

El criterio simple de selección de tamaños de filtros, el cual se ha seguido típicamente, debe ser recomendado. Varios años de experiencia con filtros de arena conducen en forma consistente a una conclusión: los problemas de "filtrado" con filtros de arena, comúnmente están asociados con mecanismos de retrolavado o con la operación de retrolavado.

Si se reconoce la conclusión anterior, el criterio apropiado para el diseño de filtros de arena debe considerar el esfuerzo que se ejerce sobre los filtros durante las operaciones de retrolavado. A continuación se ilustran el procedimiento y el criterio recomendados.

Como ejemplo de diseño asuma:

- Caudal del sistema = 216 m^3/h (950 *GPM*)
- Orificio del microrociador = 12 mm (0,050")
- Calidad del agua: entre "media" y "mala"

El siguiente es el procedimiento de selección del medio filtrante y del tamaño del tanque:

1. Determine la capacidad media de filtrado requerida:

Teniendo en cuenta la relación de 1/7

$$\text{Filtrado requerido} = (1,27)/(7)$$

$$= 0,18 \text{ mm}$$

2. Determine el medio filtrante apropiado:

La Tabla 33 muestra que el #11, granito triturado, tiene una capacidad media de filtrado de alrededor de:

$$0,08 \text{ mm @ } 37 \text{ (m}^3\text{/h)/m}^2 \text{ (15 GPM/pie}^2\text{)}$$

y

$$0,11 \text{ mm @ } 61 \text{ (m}^3\text{/h)/m}^2 \text{ (25 GPM/pie}^2\text{)}$$

Para sistemas típicos de emisores y cintas de goteo, las tasas de caudal de filtrado son 49 (m³/h)/m² (20 GPM/pie²) o menos. Para sistemas de microroció con orificios grandes y para sistemas de aspersión con agua relativamente clara, pueden usarse tasas de caudal de filtrado de hasta 61 (m³/h)/m², (25 GPM/pie²).

Por interpolación, puede estimarse que el #11, granito triturado, tiene una capacidad media de filtrado de cerca de 0,095 mm @ 49 (m³/h)/m² (20 GPM/pie²). Puesto que 0,095 mm < 0,181 mm, este es un medio filtrante apropiado.

Especificación del medio filtrante:

11 Granito triturado con:

- **Tamaño efectivo medio del medio filtrante = 0,78 mm.**
- **CU menor que 1,5.**

3. Un procedimiento de diseño típico (aunque inadecuado) sería seleccionar un filtro con base en el diseño de 61 (m³/h)/m² (25 GPM/pie²), es decir, usando esta tasa de caudal de filtrado en lugar de 49 (m³/h)/m² (20 GPM/pie²) porque se trata de un diseño de microrociador, no de un diseño de emisor más pequeño.

Primero estime el área de filtrado requerida:

$$A_f = \frac{Q_s}{T_{qf}}$$

$$A_f = (216\text{m}^3/\text{h}) / (61 (\text{m}^3/\text{h})/\text{m}^2)$$

$$A_f = 3,6\text{m}^2 (38,4\text{ies}^2)$$

La Tabla 34 muestra:

$$3,5\text{m}^2 (37,5 \text{ pies}^2) \text{ de área filtrante con 3 tanques de 122 cm (48")}$$

o

$$4,7\text{m}^2 (50,0 \text{ pies}^2) \text{ de área filtrante con 4 tanques de 122 cm (48")}$$

Podría haber la tentación a seleccionar la alternativa de los 3 tanques anteriores aún cuando estarían ligeramente por debajo del área filtrante requerida. Esto sería un error ya que ignora la hidráulica del sistema durante el retrolavado.

4. El siguiente paso debe considerar tanto el caudal regular como la hidráulica del retrolavado. Un examen de la hidráulica del retrolavado indica que el sistema de tres tanques crearía una situación indeseable. Para entender esta afirmación, primero examine la Tabla 35, la cual representa requerimientos hipotéticos de retrolavado para varios tamaños de tanques.

Tabla 35. Requerimientos de caudal de retrolavado típicos para tanques de arena.
*Nótese que cada marca y modelo de filtro tendrá valores diferentes.

Diámetro del Tanque		Tasa de Caudal de Retrolavado	
cm	Pulgadas	(m ³ /h)/m ²	GPM/pie ²
46	18	61	25
61	24	122	50
76	30	195	80
91	36	269	110
122	48	464	190

Durante una operación regular con una instalación de tres tanques, el caudal sería:

$$\begin{aligned} \text{Caudal / unidad de área} &= [216\text{m}^3/\text{h}] / (3,5\text{m}^2) \\ &= 61,7(\text{m}^3/\text{h})/\text{m}^2 (25,3 \text{ GPM/pie}^2) \end{aligned}$$

*(el cual es ligeramente mayor que el recomendado)

Durante el ciclo de retrolavado, el caudal total requerido sería:

$$\begin{aligned} \text{Caudal total} &= \text{Caudal normal} + \text{Caudal de retrolavado} \\ &= 216\text{m}^3/\text{h} + 43 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

$$= 259 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (1.140 GPM)}$$

Con una instalación de 3 tanques, el caudal por área a través de los dos tanques que no están siendo retrolavados sería:

$$\begin{aligned} \text{Caudal/unidad de área} &= (259 \text{ m}^3/\text{h})/23 \text{ m}^2 \\ &= 112 (\text{m}^3/\text{h})/\text{m}^2 \text{ (46 GPM/} \pi \text{e}^2) \end{aligned}$$

Los siguientes puntos deben ser tenidos en cuenta:

- Los caudales muy altos a través de los filtros durante el retrolavado causarían una caída de presión más alta a través de los dos tanques en funcionamiento.
- Para evitar caída de presiones en el campo durante la modalidad de retrolavado se requiere que en la bomba:
 1. Se incremente la presión para compensar la caída de presión más alta.
 2. Se incremente el caudal de $215 \text{ m}^3/\text{h}$ a $259 \text{ m}^3/\text{h}$ (950 GPM a 1.140 GPM).

Las bombas trabajan exactamente en forma opuesta. Si entregan un caudal mayor, la presión de descarga DECAE. El resultado en este caso será una caída significativa en la presión a través del sistema de riego durante el retrolavado.

- Caudales muy altos a través de los dos tanques durante el retrolavado pueden conducir a desplazamiento del medio filtrante y “formación de conos”, lo cual redundará en un retrolavado disparejo a través de los lechos.

La conclusión obvia es que las tasas regulares de caudales de entrada por unidad de área no necesariamente son indicativos de problemas durante el retrolavado. Una conclusión que se desprende de esta situación es que es muy difícil mantener caudales hacia el campo de riego cuando se lavan sistemas de dos tanques, porque un tanque debe manejar más del **doblo** de su caudal de diseño.

Durante el retrolavado de un sistema de cuatro tanques, tres de los tanques estarán en operación mientras uno es retrolavado. La tasa de caudal por unidad de área durante el retrolavado (RL) en los tres tanques que se encuentran filtrando es:

$$\begin{aligned} \text{Caudal de retrolavado (RL) por unidad de área} &= (259 \text{ m}^3/\text{h})/3,5 \text{ m}^2 \\ &= 74 (\text{m}^3/\text{h})/\text{m}^2 \text{ (30,4 GPM/} \pi \text{e}^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Caudal para filtrado solamente} &= (216 \text{ m}^3/\text{h})/4,6 \text{ m}^2 \\ &= 47 (\text{m}^3/\text{h})/\text{m}^2 \text{ (19,0 GPM/} \pi \text{e}^2) \end{aligned}$$

Recomendación: Usar 4 tanques de 122 cm de diámetro.
(4 tanques de 48" de diámetro)

Las Tablas 36 y 37 proporcionan información sobre las tasas de caudales de filtrado, tanto en unidades del Sistema Internacional como del Sistema Inglés, para varias combinaciones de caudales de sistemas de riego, diámetros de filtros de arena y número de tanques. Estos valores se dan tanto para la modalidad de “filtrado” (operación regular) como para la de “retrolavado”. Para la modalidad de “retrolavado” toda el agua del sistema de riego, más el agua de retrolavado, fluye a través de un tanque menos, como se ilustró anteriormente. La Tabla 37 indica que la combinación de 4 tanques de 122 cm (48") es correcta para 216 m³/h (950 GPM), ejemplo este discutido anteriormente.

Un examen de las Tablas 36 y 37 lleva a las siguientes conclusiones:

1. A caudales menores que 113 m³/h (500 GPM), la selección del tamaño del filtro está determinado por los requerimientos durante el retrolavado [**menos de 88 (m³/h)/m²**], (36 GPM/pe²).
2. A caudales mayores que 113 m³/h (500 GPM), la selección del tamaño del filtro está determinado tanto por el caudal regular de riego [**menos de 48,8 (m³/h)/m²**], (20 GPM/pe²), como por los requerimientos de retrolavado [menos de 88 (m³/h)/m²], (36 GPM/pe²).
3. **Ninguno** de los modelos recomendados (con excepción de los tanques de 46 cm) incluyen tan solo dos tanques. Esto se debe a las altas velocidades de filtrado durante las operaciones de retrolavado. Debe anotarse sin embargo, que comúnmente se venden sistemas de dos tanques.

Tabla 36. Tasas de caudal de filtrado o de retrolavado en (m³/h)/m², de filtros de arena para varios caudales de riego. Tamaños de 45,72 cm a 76,20 cm (18" a 30"). Los números en negrilla corresponden a recomendaciones para emisores regulares y goteo para cultivos anuales.

Diam.	cm	46	46	46	46	61	61	61	61	76	76	76	76	76	76
Tanq.	pulg.	18	18	18	18	24	24	24	24	30	30	30	30	30	30
Número Tanq.		2	2	3	3	2	2	3	3	2	2	3	3	4	4
Tipo Operac.		TF	RL	TF	RL	TF	RL	TF	RL	TF	RL	TF	RL	TF	RL
Caudal Riego															
m ³ /h	GPM														
11	50	34	103	22	51	20	78	12	39	12	64	7	32	7,3	22
23	100	68	174	46	86	39	117	27	59	24	90	17	44	12	29
34	150					59	156	39	78	37	115	24	56	20	39
45	200							51	98	49	139	34	71	24	46
57	250							66	117	61	164	42	83	32	54
68	300											49	95	37	64
80	350											59	108	44	71
91	400											66	120	49	81
102	450											76	132	56	88

Caudal Riego = caudal del sistema de riego, m³/h (GPM).

TF = tasa de caudal de filtrado al caudal de riego, (m³/h)/m².

RL = tasa de caudal de retrolavado en los filtros de arena durante el retrolavado, (m³/h)/m².

Tabla 37. Tasas de caudal de filtrado o de retrolavado en (m³/h)/m², de filtros de arena para varios caudales de riego. Tamaños de 91 cm a 122 cm (36" a 48"). Los números en negrilla corresponden a recomendaciones para emisores regulares y goteo para cultivos anuales.

Diam.	cm	91	91	91	91	91	91	122	122	122	122	122	122	122	122
Tanq.	pulg.	36	36	36	36	36	36	48	48	48	48	48	48	48	48
Número Tanq.		2	2	3	3	4	4	2	2	3	3	4	4	5	5
Tipo Operac.		TF	RL	TF	RL	TF	RL	TF	RL	TF	RL	TF	RL	TF	RL
Caudal Riego															
m ³ /h	GPM														
91	400	69	176	46	88	34	59	39	115	27	56	20	39	15	29
102	450	78	193	51	98	39	64	44	125	29	61	22	42	17	32
114	500			59	105	44	71	49	134	32	66	24	44	20	34
125	550			63	115	46	76	54	144	37	71	27	49	22	37
136	600					51	81	59	154	39	76	29	51	24	39
148	650					56	88	64	164	42	81	32	54	24	42
159	700					61	93			46	86	34	59	27	44
170	750					66	100			49	90	37	61	29	46
182	800									51	95	39	64	32	49
193	850									56	100	42	68	34	51
204	900									59	105	44	71	34	54
216	950									61	110	46	73	37	56
227	1000									66	115	49	78	39	59
238,	1050									68	120	51	81	42	61
250	1100											54	83	44	64
261	1150											56	88	44	66
273	1200											59	90	46	68
284	1250											61	93	49	71
295,23	1300											64	98	51*	73
307	1350											66	100,	51*	76
318	1400											68	103	54	78
330	1450											71	108	56*	81
341	1500											73	110	59	83

Caudal Riego = caudal del sistema de riego, m³/h (GPM).

TF = tasa de caudal de filtrado al caudal de riego, (m³/h)/m².

RL = tasa de caudal de retrolavado en los filtros de arena durante el retrolavado, (m³/h)/m².

Tabla 38. Tamaños de filtros de arena recomendados para sistemas de emisores y goteros en cultivos anuales, con base en caudales de retrolavado menores de $91(\text{m}^3/\text{h})/\text{m}^2$ ($37 \text{ GPM}/\text{pie}^2$).

Caudal del Sistema de Riego		Número y Diámetro de los Tanques		
m^3/h	<i>GPM</i>	Número	cm	<i>pulgadas</i>
11	50	2	46	18
23	100	3	46	18
34	150	3	61	24
45	200	3	76	30
56	250	3	76	30
68	300	4	76	30
80	350	4	76	30
91	400	4	76	30
102	450	4	91	36
114	500	4	91	36
125	550	4	91	36
137	600	3	122	48
148	650	3	122	48
159	700	3	122	48
170	750	3	122	48
182	800	4	122	48
193	850	4	122	48
204	900	4	122	48
216	950	4	122	48
227	1000	4	122	48
238	1050	5	122	48
250	1100	5	122	48
261	1150	5	122	48
273	1200	5	122	48
284	1250	5	122	48
295	1300	6	122	48
307	1350	6	122	48
320	1400	6	122	48
329	1450	6	122	48
341	1500	6	122	48
352	1550	7	122	48
363	1600	7	122	48
375	1650	7	122	48

Resumen sobre Selección de Tamaños de Tanques y de Arenas

En forma resumida los procedimientos son los siguientes:

1. Determine el tamaño apropiado de los tanques y su número, de la Tabla 38, con base en el caudal.
2. Determine la tasa de caudal de filtrado (TF) a partir de la Tabla 36 o de la Tabla 37 para cuando los tanques estén en la modalidad de filtrado.
3. Determine la capacidad media de filtrado requerida utilizando:

$$\text{Cap. Media de Filt. Requerida} = \frac{\text{Diam.Min.Orif Emisor}}{10}$$

o

$$= \frac{\text{Diam.Min.Orif.Emisor}}{7}$$

dependiendo de si el sistema es para goteo(10) o para microrocío (7)

4. Con la información de los pasos (2) y (3), utilice la Tabla 33 para determinar el medio filtrante apropiado. Especifique el tamaño promedio efectivo del medio filtrante con un CU menor de 1,5. Si los filtros han de remover primordialmente arena, especifique una densidad mayor para el medio filtrante, tal como granate, para evitar que el medio filtrante salga a través del tubo de retrolavado junto con la arena filtrada.

Diseño del Dren Subyacente

El dren subyacente del filtro tiene tres propósitos:

1. Permitir que salga agua clara del filtro de arena.
2. Prevenir que la arena del filtro salga del tanque junto con el agua clara.
3. Distribuir en forma pareja el agua de retrolavado a través del lecho de arena durante el ciclo de retrolavado.

Existen grandes diferencias tanto en la efectividad como en la durabilidad de los drenes subyacentes usados por varios fabricantes.

Los fabricantes tienen dos diseños de drenes subyacentes primarios. Ellos son:

1. Tortas de agregados de compuestos epóxicos vertidos en el fondo de los tanques. Los drenes subyacentes de compuestos epóxicos son hechos con granito triturado fino pegado con resina epóxica y colocado sobre grava pegada también con la misma resina. Se debe usar el tamaño de orificio correcto en los drenes subyacentes para los distintos tipos de medios filtrantes. Así por ejemplo, un medio filtrante de tamaño muy pequeño de partículas requerirá que se vierta una torta epóxica más fina.

Las ventajas de los diseños de drenes subyacentes de agregados de compuestos epóxicos incluyen:

- Distribución pareja del caudal a través de ellos, tanto en las operaciones de filtrado como de retrolavado. Esto se debe a que casi la mitad de la parte superior del dren subyacente tiene aberturas.
- Baja caída de presión, 13,8 kPa a 20,7 kPa (2 *psi* a 3 *psi*), de nuevo debido a la gran área abierta en el dren.

Las desventajas de los drenes subyacentes de agregados de compuestos epóxicos son:

- Propensión a la obstrucción. Si la torta se obstruye por la arcilla o las algas que entran, debe ser removida y reemplazada en lugar de intentar limpiarla. No obstante, algún tipo de restauración de tortas epóxicas obstruidas puede ocurrir con baños de cloro o ácidos.
- Fragilidad. Si los poros de la torta epóxica se llegan a obstruir, puede presentarse una gran diferencia de presión a través de ella durante el ciclo de retrolavado, sin apoyo alguno; así la torta puede quebrarse al comienzo de tal ciclo.

- Degradación de la resina epóxica con el tiempo.
2. Drenes subyacentes laterales o ranurados. Hay muchas variaciones en este tipo de drenes subyacentes a saber:
- “Radiadores” de malla de pozo (rejilla) de acero inoxidable, los cuales irradian hacia afuera y hacia arriba desde el centro del fondo del tanque.
 - Puertos verticales cilíndricos en una red de tubos. Estos puertos pueden tener alambre acuñado de acero inoxidable, con ranuras en forma de “v” para reducir el entrapamiento de partículas.
 - “Hongos” plásticos, los cuales son ranurados, y, estructuras cónicas montadas sobre un plato de acero cerca al fondo del tanque.
 - Una rejilla de tubos plásticos con ranuras u orificios.

Los drenes subyacentes ranurados se han hecho populares debido a su durabilidad y facilidad de mantenimiento. Algunas anotaciones acerca de la efectividad de su operación incluyen:

- Comúnmente se usa un empaque de grava con los drenes subyacentes laterales. Este empaque de grava tiene dos propósitos:
 - * Sostiene la arena y la mantiene separada de las ranuras del dren subyacente.
 - * Ayuda a dispersar en forma pareja el caudal del retrolavado a través del fondo del lecho de arena.
- Las ranuras del dren subyacente pueden ser obstruidas si no se usa empaque de grava o si el tamaño de esta ha sido erróneamente seleccionado. En general para empaque de grava se usa roca triturada, lavada, de 1,3 cm - 1,9 cm (1/2” - 3/4”). Se instala para proveer una cobertura de 5,1 cm a 7,6 cm (2” a 3”) por sobre el punto más alto del dren subyacente.
- Las ranuras del dren subyacente pueden obstruirse con arena si el tamaño de las ranuras no se ajusta al tamaño de las partículas de arena. Esto puede evitarse utilizando una capa de granate de mayor diámetro entre el empaque de grava y la arena más fina.
- Si los tanques son retrolavados con un caudal demasiado alto, la arena se mezclará con el empaque de grava y por consiguiente perderá efectividad.
- Hay diferencias importantes entre los fabricantes con respecto a:
 - * sus capacidades para construir con las debidas especificaciones el dren subyacente entubado para que se ajuste al tamaño de las partículas de arena;
 - * el área abierta que proporcionan las ranuras; y,
 - * la efectividad del agua esparcida a través del fondo del tanque.
 - * Problemas por fallas mecánicas de sujeción o por pérdida. Algunas unidades vibran sueltas o son embarcadas sueltas.

Accesorios para Filtros de Arena

La Figura 38 muestra accesorios asociados con la operación directa de los tanques de

arena. No incluye inyector de fertilizantes, medidores de caudal, dispositivos de prevención de flujo en reversa; tampoco otros componentes importantes de un sistema de riego.

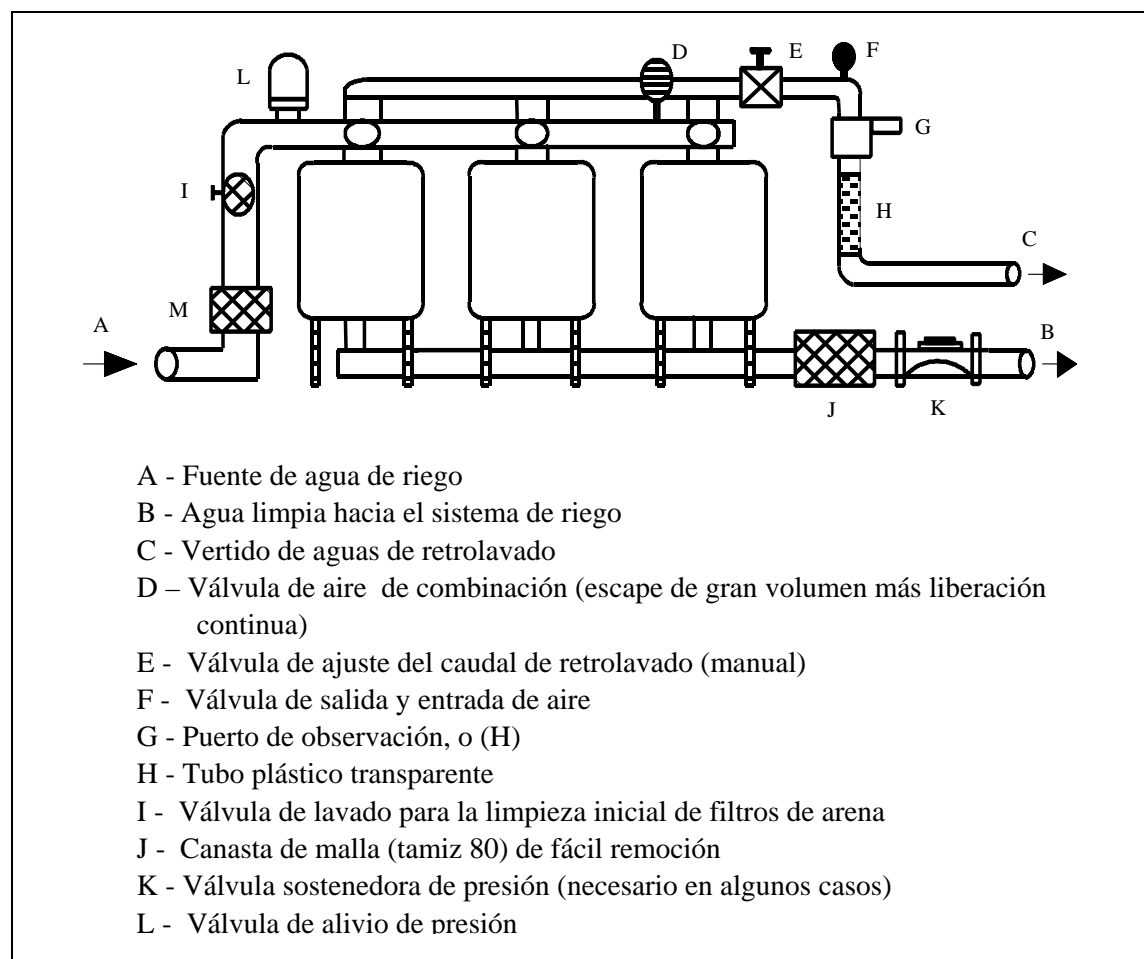


Figura 38. Tres filtros de arena con sus accesorios.

Algunos de los accesorios de los filtros de arena son esenciales; otros son opcionales.

Los elementos esenciales referenciados en la Figura 38 son:

1. Válvula de ajuste del caudal de retrolavado, “E”.
2. Algunas formas de verificar físicamente la pérdida de arena filtrante durante el retrolavado. Estas pueden incluir:
 - Un extremo de la línea de descarga del retrolavado, “C”, el cual está expuesto al aire y es accesible.
 - Un puerto de observación y muestreo especialmente diseñado, “G”, el cual continuamente pasa una porción del caudal de retrolavado a través de una pequeña jarra de vidrio unida a él para permitir que un observador vea si hay paso de arena.

3. Alguna forma de observar si el agua de retrolavado está sucia o clara. Esta puede incluir:
 - Un extremo de línea de descarga de retrolavado visible y abierto, “C”, o
 - Un puerto de observación y muestreo, “G”, o
 - Una sección de tubo plástico transparente en la línea de descarga de retrolavado, “H”, la cual debe estar cubierta para protegerla del daño que pueda ocasionarle la luz solar.
4. Una canasta coladora o malla, “J”, para capturar arena que pase a través del dren subyacente.
5. Una válvula de aire de combinación, “D”, localizada en el extremo aguas abajo del múltiple de abastecimiento. La válvula debe tener capacidad de liberar aire continuamente.
6. Una válvula de salida de aire/alivio de vacío, “F”, localizada en el extremo aguas arriba del múltiple de retrolavado.

Otros elementos, los cuales pueden ser esenciales en algunos casos son:

1. Una válvula de alivio de presión, “L”, localizada aguas arriba de los filtros.
2. Una válvula de enjuague para ayudar en la limpieza inicial del medio filtrante, “I”, localizada aguas arriba de los filtros.
3. Una válvula sostenedora de presión, “K”, localizada aguas abajo de los filtros. Más adelante hay una discusión breve sobre esta válvula.
4. Un regulador de presión aguas arriba de los filtros.

Válvulas Reguladoras de Presión

En algunas ocasiones se requieren válvulas reguladoras de presión aguas arriba de los filtros por dos razones:

1. En ocasiones, el sistema de riego requiere solo un caudal pequeño. En estos casos las bombas pueden descargar el agua con una presión mayor que la presión recomendada para la operación de los filtros (ver Tabla 34).
2. Hay una gran variación en la presión de abastecimiento. Esta variación de presión hará casi imposible ajustar apropiadamente la válvula de calibración del caudal de retrolavado en los filtros de arena, puesto que el caudal durante el retrolavado dependerá precisamente de la presión en dicha válvula. Un regulador de presión antes de los filtros de arena mantendrá una presión constante aguas arriba de los tanques. Si los tanques son lavados automáticamente con un diferencial de presión extra razonablemente pequeño, todo el retrolavado ocurrirá a casi la misma presión en la válvula de calibración del caudal de retrolavado.

En el Capítulo 7 hay más discusión sobre válvulas de regulación de presión ajustables.

Limpieza Inicial del Medio Filtrante

La especificación tanto del tamaño como del tipo apropiados de arenas del filtro es crítica, así como también lo es el número y tamaño de los tanques. No obstante, el

funcionamiento efectivo depende en gran parte de la atención que se preste a algunos detalles pequeños durante la instalación de los filtros de arena. La falta de atención a estos detalles puede notarse rápidamente en dos formas:

1. Los filtros de arena tendrán una gran pérdida de presión a través de ellos, del orden de 69 kPa a 172 kPa (*10 psi a 25 psi*), en lugar de la pérdida esperada de 21 kPa a 35kPa (*3 psi a 5 psi*) cuando están limpios. Esto es causado por un bloqueo de las ranuras de los drenes subyacentes de los tanques.
2. Pequeñas partículas de suciedad, originadas en la grava o en la arena nuevas, pasarán a través de los drenes subyacentes y por consiguiente fuera de los filtros hacia el sistema de riego y los emisores.

Un problema básico es que con frecuencia la grava y la arena no son tan limpias como se supone que debieran ser. Algunos fabricantes de filtros de arena suministran grava sin lavar, lo cual puede constituir la causa principal de los problemas antes mencionados. El medio filtrante puede tener un coeficiente de uniformidad (CU) mayor que el especificado debido a varios errores. Aún cuando la grava haya sido pre-lavada y empacada en sacos, puede rebotar durante el embarque y estar bastante sucia al momento de llegada al sitio de instalación. Por consiguiente deben tomarse siempre las siguientes precauciones:

1. Debe pedirse siempre grava pre-lavada.
2. Luego de la entrega en el sitio de instalación, la grava debe lavarse completamente en el sitio. Esto puede hacerse colocando la grava en el platón inclinado de una volqueta y lavándola con manguera.
3. La grava (si se usa, o quizás otro material como granate) y la arena, deben instalarse en los tanques de acuerdo con los espesores especificados por el fabricante.
4. Todas las válvulas aguas abajo de los filtros de arena deben cerrarse.
5. Las válvulas de retrolavado deben cerrarse.
6. La válvula de calibración de caudal de retrolavado (elemento E de la Figura 38) debe cerrarse.
7. La válvula de enjuague (elemento I de la Figura 38), localizada aguas arriba de los filtros de arena, debe abrirse.
8. El abastecimiento de agua debe prenderse para que haya flujo a través de la válvula de enjuague. Si no se usa bomba de reimpulsión o simplemente si no se usa bomba de ninguna clase, debe haber alguna forma de regular el caudal total desde el abastecimiento, de manera tal que no exceda el caudal máximo recomendado para el retrolavado de un tanque (ver Tabla 35 o acudir a información suministrada por el fabricante).
9. Abra completamente la válvula de retrolavado hacia uno de los tanques (ver la siguiente sección sobre descripción de estas válvulas).
10. Abra muy lentamente la válvula de calibración del caudal de retrolavado. No exceda el caudal máximo de retrolavado. Ver la siguiente sección sobre ajustes de retrolavado para entender mejor cómo estimar el caudal máximo de retrolavado. Este paso garantizará que un caudal muy pequeño pase hacia abajo a través de los filtros de arena restantes (aquellos que no se encuentren en la modalidad de retrolavado). Los caudales pequeños hacia abajo ayudarán a

prevenir migración de partículas finas hacia abajo en esos tanques, partículas que podrían obstruir los drenes subyacentes. El procedimiento permite un retrolavado completo de los filtros de arena, uno a la vez, para remover partículas finas de cualquier clase que puedan provenir de la grava o de la arena.

11. Cierre la válvula de retrolavado en el primer filtro y luego haga el retrolavado del segundo tanque; así sucesivamente hasta que todos los filtros de arena queden completamente limpios.
12. Repita el procedimiento varias veces.

Ajustes al Retrolavado

Una vez que los tanques y su medio filtrante hayan sido lavados completamente luego de la instalación inicial, se debe reajustar apropiadamente el retrolavado. El retrolavado debe proporcionar suficiente caudal de reflujo para expandir el lecho de arena y separar la arena en partículas individuales. Las partículas más pequeñas y aquellas con menor gravedad específica que la arena filtrante (incluyendo material orgánico) serán llevadas fuera del tanque.

Esta acción se lleva a cabo mecánicamente haciendo cambios en una válvula de 3 vías localizada en el tope de cada tanque. Solamente un tanque es retrolavado a la vez. Durante el retrolavado, la válvula de 3 vías cierra el agua que ingresa y abre el tope del tanque a otro tubo que descarga el agua hacia la atmósfera. Fluye entonces agua limpia desde otro tanque(s) por el fondo del tanque y en esta forma se origina el reflujo para el retrolavado.

Todos los elementos de retrolavado, los cuales se describen a continuación, deben ajustarse en forma apropiada para tener una filtrado exitosa. Esto debe hacerse cuando el sistema esté operando a su presión y caudal normales.

1. Ajuste de Caudal

El caudal debe ser ajustado para que quede solo una ligera huella de salida de arena filtrante con el agua de retrolavado. La válvula de ajuste “E” de la Figura 38 puede ser una válvula de compuerta, de mariposa o esférica. Los caudales mayores removerán demasiada cantidad de arena filtrante y los caudales demasiado pequeños no proporcionarán suficiente fluidez del lecho de arena para una limpieza apropiada.

El procedimiento de ajuste de “un tiempo” es crítico. El ajuste debe empezar con la válvula de ajuste cerrada. La válvula debe abrirse lentamente y con pequeños incrementos, hasta que esté ajustada en forma apropiada. **NOTA: Nunca empiece el ajuste con un caudal alto, porque el caudal alto puede destruir la integridad de las capas de arena/grava en el tanque.** Entre cada incremento se debe verificar si por el extremo del tubo de descarga del agua de retrolavado está saliendo arena. Debe permitirse un tiempo suficiente entre el ajuste y la verificación para permitir que el agua fluya desde los tanques hasta el extremo del tubo. Una de las formas más fáciles de verificar si hay presencia de arena es colocar una malla de tamiz 100 o una media de nylon dentro del agua de

descarga de retrolavado. Cualquier cantidad de arena se verá fácilmente. Es de anotar que durante la limpieza inicial de la grava y la arena, se puede esperar que se descargue un número significativo de partículas finas. El ajuste final de “un tiempo” del caudal se hace luego de la limpieza inicial y cuando el sistema está operando a su presión y caudal típicos.

Una vez que la válvula ha sido ajustada, es buena idea retirar el manubrio para evitar que la gente “reajuste” la válvula en forma incorrecta.

Los problemas más comunes en el ajuste del retrolavado son:

- No se construyó la tubería de descarga de tal manera que uno pueda colocar la mano bajo el agua que fluye libremente para verificar si hay presencia de arena.
- El tubo de descarga es demasiado largo, o demasiado pequeño, o va hacia arriba en un tramo tan largo que resulta imposible obtener un caudal suficiente para el retrolavado. Los autores han observado que rara vez se “diseña” el tubo de descarga. En lugar de hacerlo, si por ejemplo las válvulas de retrolavado tienen una descarga de 4”, la gente comúnmente instala una tubería de 4”. *Los tubos de descarga de retrolavado deben diseñarse de tal manera que no se necesiten más de 35 kPa (5 psi) de presión para descargar el caudal requerido.* Esto significa que el diámetro del tubo de descarga debe seleccionarse en base al caudal, la distancia, el cambio en elevación y las condiciones del extremo (es decir, solo 35 kPa (5 psi) en pérdidas y/o en cambio de elevación). Además, con frecuencia pueden requerirse válvulas de aire para la remoción de cámaras de aire comprimido.
- La presión en los filtros de arena cambia con el tiempo debido a tamaños diferentes de bloques del sistema de riego o a diferentes presiones de abastecimiento. Esto hace que varíe el caudal de retrolavado; algunas veces puede ser el correcto, pero en otras puede ser demasiado alto o demasiado bajo. Las soluciones no son simples; se pueden mencionar entre otras, usar diferentes múltiples de retrolavado para diferentes bloques, o instalar una válvula grande de regulación de presión antes de los filtros de arena y una válvula sostenedora de presión aguas abajo de los filtros de arena. Ver el Capítulo 7 para una discusión más detallada sobre estas válvulas.
- No hay presión suficiente en el lado aguas abajo de los tanques, porque estos tienen un tamaño inferior al requerido, o bien porque la bomba no desarrolla suficiente presión. Cuando un filtro de arena es retrolavado, la fuente de agua debe abastecer caudal suficiente no solo para el sistema de riego, sino también para el retrolavado. Los sistemas de dos tanques se destacan por tener problemas durante el retrolavado, donde quiera que no haya presión suficiente, bien sea para un retrolavado adecuado o para regar el campo. Este problema se puede reducir considerablemente si se siguen las recomendaciones sobre tamaño de tanques que ilustra la Tabla 38.

Cuando la presión no es suficiente para operar tanto el retrolavado como el sistema de riego en forma simultánea, se debe reducir el caudal que va hacia el sistema de riego (aguas abajo de los filtros) para incrementar la presión en la bomba y así permitir el retrolavado. Esto se logra mejor con una válvula sostenedora de presión automática (elemento K en la Figura 38 y discusión más detallada en el Capítulo 7). Esta válvula monitoreará la presión aguas arriba (la presión aguas abajo de los filtros de arena) y se cerrará parcialmente si la presión aguas arriba decae demasiado.

2. Frecuencia de los Ajustes

Las dos mejores recomendaciones con respecto a la frecuencia de retrolavado son:

- Use un retrolavado automático. Esto elimina problemas asociados con cambios en la calidad del agua, problemas con operadores quienes olvidan hacer el retrolavado, o problemas con otros operadores quienes usan duraciones incorrectas de retrolavados.
- Un retrolavado automático debe utilizar **tanto** un disparador de interrupción por presión diferencial (PD), **como** un disparador en base al tiempo transcurrido. El interruptor por PD se calibra usualmente para **incrementos** en presión diferencial (diferencia entre entrada y salida del tanque) del orden de 35 kPa a 55 kPa (*5 psi a 8 psi*) con respecto a la condición de filtro limpio. Esto quiere decir que la activación de PD puede calibrarse para 48 kPa a 97kPa (*7 psi a 14 psi*) aproximadamente, dependiendo de la caída de presión a través del filtro de arena cuando está limpio. También es esencial que haya un reloj para el control del tiempo transcurrido, el cual dispare para obtener por lo menos **un retrolavado por día**, independientemente de la lectura de PD. Bajo esta condición se previene que todo el lecho de arena se obstruya lentamente sin que haya un gran cambio en presión diferencial, como puede ocurrir cuando la tasa de caudal de filtrado, $(\text{m}^3/\text{h})/\text{m}^2$, $(\text{GPM}/\text{pie}^2)$ es baja.

3. Ajuste del Espacio de Tiempo de Retrolavado (tiempo entre el lavado de cada tanque)

Los controladores automáticos de retrolavado tienen un ajuste del intervalo de tiempo entre lavados, el cual permite que se desarrolle presión en el sistema, de tal manera que cada tanque tenga siempre la misma presión para lavado. En otros casos el interés se centra en asegurarse que una válvula de retrolavado esté cerrada antes de que otra se abra.

4. Ajuste de la Duración

El tiempo de duración del retrolavado debe ser suficiente para permitir una limpieza completa del lecho del medio filtrante. Si este tiempo es demasiado corto, o si el caudal es muy bajo, el diferencial de presión para la condición de "limpieza" se incrementará gradualmente con el tiempo. Para ajustar el tiempo de duración en forma apropiada, se requiere un tubo plástico transparente o un

cilindro de muestreo con una ventanilla de vidrio para observar el color del agua de retrolavado.

La válvula de aire de acción continua colocada sobre el tubo múltiple de entrada tiene una función importante relacionada con el retrolavado. La válvula de aire libera aire atrapado dentro de los tanques a medida que se llenan de agua. Cualquier cantidad de aire que permanezca en un tanque cuando se inicia el retrolavado, saldrá rápidamente a través de la válvula abierta de retrolavado, causando una mezcla violenta de la arena filtrante y cualquier paquete de grava.

Vertido de Aguas de Retrolavado

El vertido de aguas de retrolavado puede causar dolores de cabeza a diseñadores y operadores. La combinación de agua sucia con la necesidad de una buena filtrado para cintas de goteo, puede redundar en situaciones en las cuales se requieran retrolavados muy frecuentes.

El primer paso es minimizar el volumen de retrolavado requerido, sin menoscabo del grado de filtrado necesario. Esto se logra de dos maneras:

1. Seleccionar una marca/modelo de filtro de arena que se caracterice por una operación de retrolavado muy eficiente. Algunas marcas/modelos requieren hasta tres veces más volumen de retrolavado por día que otras.
2. Utilice pre-tratamientos para reducir la carga de suciedad que entra a los filtros de arena.

Si se inyectan químicos aguas arriba de los filtros (lo cual se recomienda usualmente), entonces el agua de retrolavado contendrá tales químicos, a menos que el sistema de inyección de químicos se apague durante el retrolavado. Esto es posible con algunos controles de riego. Podrá o no haber problema de vertido de desechos, dependiendo de la naturaleza del químico que se inyecte.

Algunas personas usan una pequeña malla para rebosamientos con el fin de "filtrar" el agua de retrolavado proveniente de los filtros de arena. La malla para rebosamientos tiene tamaño de tamiz entre 150 y 200. El agua "limpia" de retrolavado se bombea entonces de nuevo hacia la entrada de los filtros de arena. Si bien es cierto que la malla para rebosamiento pudo haber sido utilizada como filtro primario, es posible que haya problemas con controles de riego relacionados con la automatización, mantenimiento y pérdida de presión, si el abastecimiento de agua es presurizado. Este uso sensato de pequeñas mallas en combinación con filtros de arena, proporciona mejores resultados que las mallas grandes para rebosamiento por sí solas.

Materiales y Revestimientos de Tanques

Los materiales más comunes son acero ordinario o acero Tipo 304 inoxidable. Se fabrican también tanques de fibra de vidrio o de polietileno reforzado con fibra. Las válvulas y los drenes subyacentes se fabrican con una gran gama de materiales. Las consideraciones primarias sobre materiales/revestimiento son: (1) corrosión del metal

y (2) descascamientos o raspaduras del revestimiento. El acero ordinario no revestido está sujeto a corrosión. Sin embargo, varios tipos de revestimientos pueden ser aplicados a los interiores de los tanques. El revestimiento interno con fusión epóxica ha sido muy efectivo, si se hace en forma apropiada. La pintura epóxica o la pintura aplicada con brocha, son en general de menor duración. Los revestimientos de base bituminosa flexible no son tan sensibles a picarse y a agrietarse a causa de dobladuras del tanque durante el embarque y la operación, aunque estos revestimientos pueden descascararse con el tiempo. La calidad de los materiales usados, el proceso de aplicación y la preparación del acero, todos ellos ejercen influencia sobre la calidad final de cualquier revestimiento. Un simple orificio en el revestimiento servirá de "imán" para la corrosión; por consiguiente, los revestimientos parciales no son efectivos. Deben tomarse precauciones especiales durante la instalación de los empaques de arena y grava, así como también durante los trabajos de reparación en el interior de los tanques, para evitar que el revestimiento se pique o sufra cualquier otro tipo de daño. Los tanques de acero ordinario pueden pedirse con ánodos de sacrificio, los cuales cuando se combinan con revestimiento epóxico pueden ser muy efectivos en prevenir la corrosión.

El acero inoxidable Tipo 304 es usado con frecuencia como material de los tanques, en parte porque el acero inoxidable da una mejor apariencia externa a los tanques que el acero pobre en carbono o acero dúctil. Es importante notar, no obstante, que el acero inoxidable es resistente a la corrosión aunque no es a prueba de herrumbre. Un fabricante (Phillips, 1999), informa que se estima que entre 10% y 15% de los tanques de acero inoxidable experimentan fallas de corrosión por agujeros dentro de los dos primeros años de servicio. Mientras que los tanques de acero dúctil son susceptibles a corrosión en toda su superficie, los tanques de acero inoxidable son principalmente sensibles a formas localizadas de corrosión tales como picaduras, rendijas o agrietamiento por esfuerzo. Parte de esta corrosión localizada puede ser en la forma de corrosión influenciada microbiológicamente (CIM), fenómeno este que solo ha sido estudiado en las dos últimas décadas aproximadamente. La mayoría de la superficie de los tanques de acero inoxidable puede no exhibir evidencia de corrosión aún cuando pueda haber escapes serios por picaduras y agujeros. En general, la corrosión localizada profundiza más y con mayor rapidez que la corrosión que cubre toda la superficie de un tanque.

La corrosión puede ser preocupante para el acero inoxidable 304 si la salinidad del agua está por sobre 750 ppm. El acero inoxidable Tipo 304 exhibirá corrosión como en rendijas cuando se combinan la presencia de cloro en concentraciones mayores de 300 ppm y de sulfatos en concentraciones menores de 300 ppm. El acero inoxidable tipo 316 es más resistente. Los ánodos de sacrificio pueden ser usados con acero inoxidable, así como también con acero dúctil (Bell, 1998). Parte del problema puede deberse a lo delgado de las láminas usadas típicamente en la construcción de tanques de acero inoxidable; cuando se comparan varios productos de acero inoxidable, debe observarse el espesor de la pared.

Clasificaciones de Presión

Los aspectos claves relacionados con las clasificaciones de presión en instalaciones de filtros incluyen:

1. Los tanques estándar de gran tamaño tienen clasificaciones de presión más bajas que los tanques estándar pequeños. La Tabla 34 muestra algunas clasificaciones de presión "típicas".
2. Los fabricantes usan un rango de espesores de material y tienen diferentes calidades de mano de obra. Estos afectan las clasificaciones de la presión de los tanques.
3. El cierre rápido de válvulas de retrolavado puede crear grandes olas de presión.
4. Mientras que el uso de tubos múltiples de PVC ofrece distintas ventajas debido a la fácil instalación y a la falta de corrosión, se debe prestar atención a los siguientes detalles:
 - Las clasificaciones de presión de las "denominaciones de catálogo" de los tubos (por ejemplo denominaciones 40 y 80) varían con el diámetro del tubo. La denominación PVC 40 se clasifica con 3.309 kPa (*480 psi*) para diámetro de 1,9 cm (*3/4"*), mientras que la clasificación de presión para diámetro de 30,5 cm (*12"*) es tan solo de 896 kPa (*130 psi*).
 - La clasificación de presión de un tubo PVC se basa en una temperatura del tubo de 23°C (*73,4 °F*) mientras el agua fluye en el tubo. La clasificación de presión de PVC debe reclasificarse en 75% a la temperatura de 32°C (*90°F*), y en 40% a la temperatura de 49°C (*120,2°F*). Esto es, un tubo de PVC de 689 kPa (*100 psi*) se clasifica tan solo como de 517 kPa (*75 psi*) a la temperatura del tubo de 32°C (*90°F*) y como de 276 kPa (*40 psi*) a 49°C (*120°F*). Lo anterior obedece a dos implicaciones obvias: cuando el agua se calienta se requiere usar PVC de alta presión y, por otra parte, es necesario mantener la tubería de PVC resguardada de la luz directa del sol.

Filtros de Discos

Los filtros de discos han sido ampliamente promocionados por algunos fabricantes. La Figura 39 ilustra el principio de operación de un filtro de discos.

Como puede observarse en la Figura 39, el elemento filtrante de un filtro de discos consta de anillos ranurados múltiples con un hueco en el centro. Cuando estos discos se disponen herméticamente juntos, forman un cuerpo filtrante cilíndrico el cual tiene alguna semejanza con una malla tubular profunda.

El grado de filtrado depende del número de ranuras en cada uno de los anillos; las opciones típicas son del tamaño de tamices 40, 80, 120, 140 y 200. Comúnmente los anillos se codifican por color para fines de identificación. La posición de las ranuras de cada disco en relación con los discos adyacentes es al azar, de manera tal que se forme algo así una matriz de varias mallas. El agua que pase a través del cilindro

encontrará un total de 12 a 32 intersecciones de ranuras, dependiendo del tamaño de tamiz del disco.

Con frecuencia los filtros de discos se seleccionan para caudales muy pequeños, menores de $5,7 \text{ m}^3/\text{h}$ (25 GPM), debido a que ellos tienen una capacidad de retención de suciedad mucho mayor que las mallas y a que los filtros de tanques de arena no se encuentran disponibles típicamente a precios razonables para pequeños caudales. Las unidades pequeñas a menudo están compuestas de solo un elemento de filtro, el cual debe desensamblarse y limpiarse manualmente con una manguera.

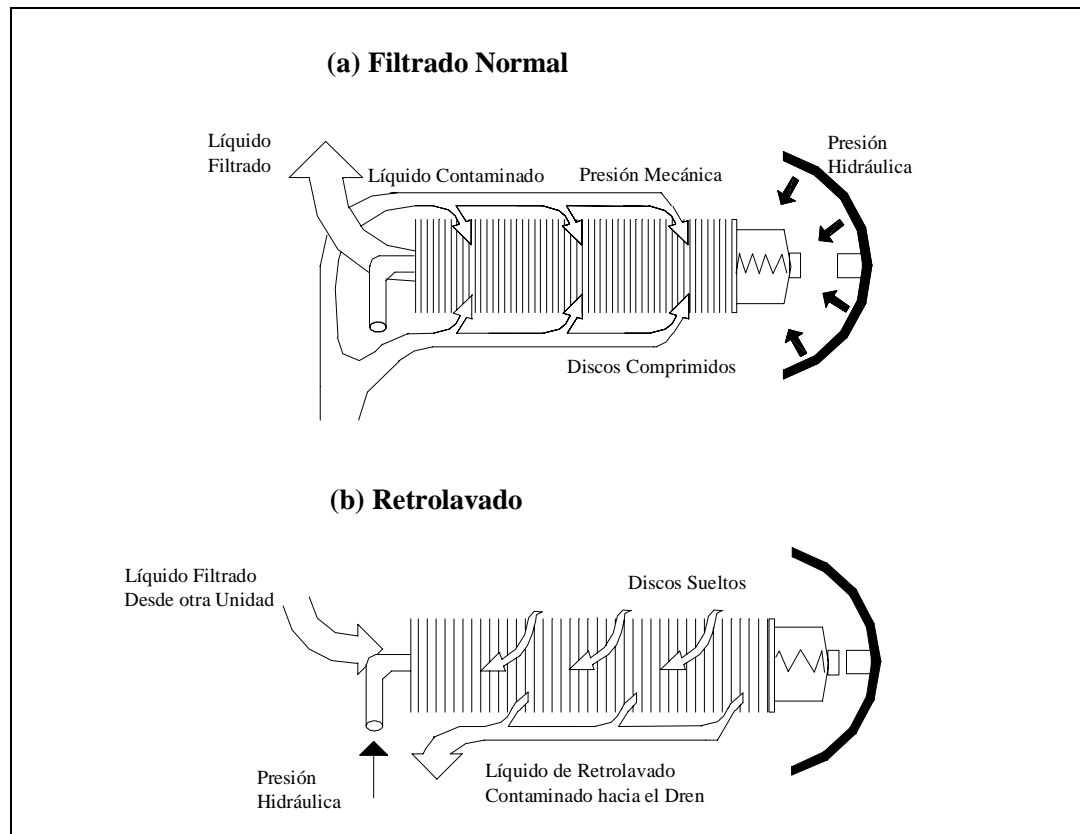


Figura 39. Filtro de discos con capacidad de retrolavado. Exquema cortesía de Arkal Filtration Systems.

Las unidades más grandes están disponibles en baterías de cilindros paralelos. El retrolavado automático se ha hecho cada vez más común. El retrolavado usualmente requiere una mayor presión [rango de 276 kPa — 345 kPa (40 psi — 50 psi)] que la que se encuentra disponible en la bomba de riego, de manera tal que puede necesitarse una bomba especial de reimpulsión solamente para abastecer el agua de retrolavado. También, se debe limpiar manualmente un pequeño disco usado como mecanismo de control del filtro. Las presiones diferenciales típicas al momento de retrolavado están entre $41,4 \text{ kPa}$ y $48,3 \text{ kPa}$ (6 psi y 7 psi). Las presiones diferenciales cuando esté limpio deben estar entre $4,1 \text{ kPa}$ y $27,6 \text{ kPa}$ ($0,6 \text{ psi}$ y 4 kPa) si el tamaño de las unidades ha sido seleccionado en forma apropiada.

Durante el retrolavado los discos están separados. En el caso de lavado automático, unas boquillas de chorro múltiple proporcionan rocío tangencial sobre los discos sueltos, *en algunos diseños* (algunos diseños no tienen esta característica). A medida que los discos giran por acción del rocío, la suciedad retenida es lavada hacia afuera. El volumen de agua usado para retrolavado es típicamente inferior al utilizado en los filtros de tanques de arena.

Los filtros de discos son conocidos por tener problemas serios de operación cuando el contaminante primario es arena, puesto que la arena tiende a alojarse entre los discos durante el retrolavado. Estos problemas también han sido conocidos cuando hay presencia de algas fibrosas. Recientemente se ha tenido conocimiento de que algunos fabricantes están diseñando nuevos filtros de discos, los cuales se espera trabajen bien con arena.

Las reglas sobre pre-tratamiento y ajuste de frecuencia, duración, caudal e intervalo de tiempo entre retrolavados, son similares a aquellas encontradas para filtros de arena. Los filtros de discos tienen una ventaja sobre aquellos, cifrada en el hecho de que un caudal de retrolavado excesivamente alto en filtros de discos no da lugar a expeler medio filtrante, puesto que este no existe.

Los filtros típicos de disco son hechos casi completamente de plástico, por consiguiente la corrosión deja de ser un problema de importancia. No obstante, se requiere lubricación periódica de algunas de las partes de estos filtros.

Filtros de Malla Tubular de Limpieza por Rotación

Algunos filtros de malla tubular tienen dentro de sí un mecanismo rotativo, el cual "vacía" los contaminantes de la superficie de la malla cuando ésta se llena de suciedad. No es que haya un vacío real, sino que el mecanismo rotativo tiene unas varillas localizadas muy cerca de la suciedad dentro de la malla tubular. Cuando el ciclo de lavado se activa el agua circula dentro de tales varillas y se descarga hacia la atmósfera. La tolerancia escasa que hay entre la entrada a la varilla y la superficie de la malla hace que el agua fluya a la inversa cuando la varilla giratoria pasa un cierto punto. Estas mallas tubulares de limpieza rotativa han estado disponibles por muchos años, aunque los diseños recientes son muy superiores a los anteriores.

Los diseños antiguos utilizaron un mecanismo rotativo de limpieza (lavado), el cual era impulsado hidráulicamente. Los nuevos diseños con frecuencia usan un motor eléctrico para girar las varillas de "vacío". Entre las ventajas de estos diseños se encuentran: una "huella plantar" pequeña, es decir, no requieren una base grande en concreto para su instalación, y, un retrolavado muy eficiente (se necesita poca agua para la limpieza). Son de lavado automático, el cual es activado por un interruptor en base a la presión diferencial.

Otros Diseños de Malla Especiales

Se han presentado muchas variaciones del diseño de malla tubular estándar, una de las cuales usa el mecanismo de limpieza rotativo descrito anteriormente. Otras dos variaciones han recibido gran aceptación, a saber:

1. Una malla cónica vertical dentro de una caja cilíndrica, con una platina plana cerca al ápice del cono. Una malla cónica invertida se coloca dentro de la caja cilíndrica. El agua entra desde el fondo de la caja y sale cerca del tope. La arena cae al fondo de la malla, alrededor de la entrada. Este tipo de malla ha tenido éxito para remoción de arena en sitios en que los elementos de la malla tubular estándar o no tienen capacidad suficiente, o se arruinan por el efecto abrasivo de las partículas de arena.
2. Mallas con puertos internos especiales, los cuales crean una acción centrífuga para ayudar a mover arena hacia un puerto de lavado. Estos diseños de mallas usualmente requieren que parte del agua sea descargada continuamente a través del puerto de lavado.