ESTUDIO SANITARIO DEL AGUA

José Antonio Pérez López, Miguel Espigares García

Universidad de Granada, 1995

FILTRACION

Es un proceso mediante el cual se retiene en un medio poroso la materia en suspensión contenida en un fluido. Cuando las partículas en suspensión tienen un tamaño suficiente, quedan retenidas en su superficie, recibiendo el nombre de filtración superficial, en torta o sobre soporte; mientras que si las partículas tienen un tamaño inferior, pueden quedar adsorbidas en el interior de la masa porosa, denominándose en este caso filtración en volumen, en profundidad o sobre lecho filtrante.

En todos los casos, los mecanismos de filtración se rigen por la ley de Darcy, que dice que la pérdida de carga (P), es proporcional a la velocidad de filtración (V) [expresada por el caudal instantáneo (Q) por unidad de superficie (S)], siendo el coeficiente de proporcionalidad (K) función de la viscosidad dinámica (h) y de la resistencia del medio (R):

$$V(Q/S) = K\ P = \frac{P}{\eta\ R}$$

En la filtración pueden emplearse una gran variedad de procedimientos y materiales (Tabla 10.5) cuyo tamaño de poro puede estar comprendido entre 1 y 100 µm, que fundamentalmente se utilizan para microtanización, o bien soportes granulares con tamaños de poro comprendidos entre 0,1 y 10 mm. La tierra de diatomeas, utilizada para determinadas aplicaciones, tiene unas características intermedias. En función de las características del material filtrante pueden retenerse partículas de un amplio rango de tamaños (0,1 - 1000 µm), formas y características, ya sean de origen natural o antropogénico, tales como algas, sustancias húmicas en estado coloidal, bacterias, virus, fibras de asbestos, coloides de arcilla e incluso, si el material filtrante tiene determinadas propiedades de adsorción, como ocurre con el carbón activo granulado, puede servir para eliminación de una gran variedad de microcontaminantes. Además, muchos contaminantes habituales del agua, como virus, metales pesados, pesticidas, etc., pueden estar asociados a partículas, por lo que una filtración adecuada de éstas aumenta significativamente la eficacia de los tratamientos de potabilización. En definitiva, suele tratarse de una ultima barrera físico-química para los contaminantes del agua en el conjunto de los tratamientos utilizados en su acondicionamiento.

TABLA 10.5. Tipos de materiales filtrantes.

Tipo	Tamaño de poro	Materiales
Microtamización	1-100 µm	Polietileno, acero inoxidable, tela.

Tierra de diatomeas	7-50 µm	Restos silíceos de fósiles.
Material granular	0,1-10 mm	Arena, antracita, magnetita.

Según las características del agua problema, antes de realizar la filtración, puede ser necesario, o no, intercalar una etapa de sedimentación, en función de la naturaleza de las partículas implicadas, de la concentración de éstas y de la consistencia de los flóculos formados. Cuando la concentración de partículas es muy elevada y, por tanto, también el volumen de flóculos formados, la filtración directa tiene el inconveniente de que el lecho filtrante se atora muy rápidamente. Asimismo, cuando las fuerzas de unión de los flóculos no son muy grandes, existe la posibilidad de que se rompan por el cizallamiento que sufren durante la filtración a través de un medio granular, pasando las sustancias que los componen al producto final, como ocurre con los flóculos de hierro o aluminio. En estos casos siempre es conveniente realizar una sedimentación previa a la filtración.

Cuando las partículas tienen un tamaño superior, e incluso menor que el diámetro de poro del soporte granular, quedan retenidas en su superficie, no solo porque los poros van disminuyendo progresivamente su diámetro, sino porque, según diversos autores, cuando la relación entre el tamaño de la partícula y el diámetro medio de poro es mayor de 0,2, gran parte de las partículas quedan retenidas en la superficie del lecho filtrante. Otros autores sostienen que para partículas de tamaño superior a las 100 µm, la retención en la superficie de los filtros puede ser el mecanismo dominante de eliminación, lo que puede resultar un grave inconveniente cuando se pretende realizar la filtración en volumen, ya que los filtros pueden quedar rápidamente inutilizados por la pérdida de carga.

Sin embargo, muchas de las partículas que deben ser retenidas por los filtros, como las bacterias, la arcilla coloidal o las sustancias que producen color en el agua, tienen un diámetro mucho menor que el de los intersticios de la arena, por lo que el mecanismo de filtración es mucho mas complejo que el de la simple retención e intervienen diversos fenómenos que favorecen el cambio de trayectoria de las partículas y el contacto de estas con el material filtrante, fenómenos tales como la intercepción directa, difusión por movimiento browniano, atracción por fuerzas de Van der Waals, fuerzas inerciales, fuerzas electrostáticas, sedimentación por gravedad, coagulación por diastasas (como ocurre en la membrana biológica superficial de los filtros lentos de arena), etc. (Fig. 10.16).

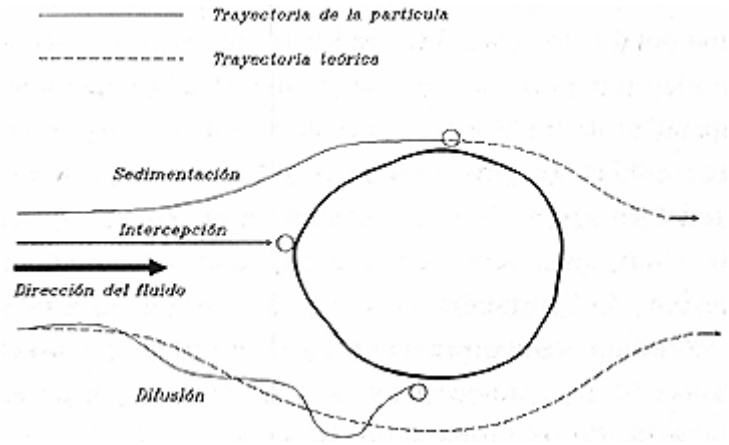

FIGURA 10.16. Mecanismos que intervienen en la filtración.

La efectividad de un filtro en la retención de partículas, se define como el número de colisiones efectivas de todas las partículas presentes del agua, partido por el numero de colisiones teóricas posibles en la superficie de una sección transversal de dicho filtro (colector individual). Si las partículas granulares del filtro tienen forma esférica o *cuasi* esférica, la superficie de una sección transversal se correspondería con la suma de las áreas de todas los gránulos comprendidos en dicha sección. Por tanto, la efectividad de retención a través de todo el volumen del lecho filtrante, sería la suma de las efectividades de todos los posibles colectores individuales.

Por otra parte, la disminución del tamaño de poro del material filtrante, por las partículas retenidas en él, puede provocar un aumento de las fuerzas hidráulicas de cizallarniento de las partículas ya coaguladas al aumentar proporcionalmente la velocidad del agua a través de los poros.

La filtración debe ser considerada como un proceso más de separación sólido/líquido, y en función de las características de la materia particulada presente en el agua se procederá a efectuarla, si se considera necesario, y en este caso se elegirá el soporte adecuado. En otras circunstancias, las partículas pueden eliminarse por otros procedimientos de separación de los que habitualmente se realizan para el tratamiento de aguas, tales como sedimentación o flotación.

De acuerdo con las fuerzas que intervienen en el proceso de filtración, los filtros se clasifican en filtros de gravedad y filtros de presión.

Los filtros que se utilizan más frecuentemente en los Sistemas de abastecimiento de agua potable para consumo público son los granulares de arena, consistentes en un lecho de material poroso, contenido en una estructura que permite la regeneración de la capacidad de retención cuando la pérdida de carga es importante debido a las partículas ya retenidas. En principio parecen los más adecuados cuando la cantidad de materia a retener es grande y la dimensión de las partículas relativamente pequeña. El tipo de filtro más usual es el de gravedad, cuyo coste siempre es menor que el de los filtros a presión. La filtración a través de un medio granular es usualmente un proceso discontinuo, que consta de un ciclo de filtración y un ciclo de regeneración o lavado del

lecho filtrante, aunque en el mercado existen dispositivos que permiten la filtración y regeneración de forma simultánea.

Los filtros de arena por gravedad pueden dividirse, a su vez, en dos tipos en función de la velocidad de filtración del agua bruta: filtros lentos de arena y filtros rápidos de arena.

Filtros lentos de arena

Están construidos de tal forma que el agua fluye muy despacio a través de un lecho de arena fina, quedando retenidas en la superficie del filtro las partículas de mayor tamaño, donde forman una capa biológica porosa muy delgada, pero con una gran superficie de contacto en sus poros, que favorece la adsorción de impurezas en sí misma o en la arena subyacente. Estos filtros requieren una superficie muy extensa de filtración y una velocidad de circulación muy reducida, que suele oscilar entre 1,3 y 6,6 $L/m^2 \cdot min$. Una de las ventajas de este tipo de filtros es que pueden operar eficientemente sin predesestabilización de las partículas del agua.

Cuando se pone en funcionamiento uno de estos filtros, el agua debe circular a su través a una velocidad muy baja, basta que se forme la película biológica en la capa superficial de la arena. proceso que suele demorarse de 4 a 7 días, y es en este momento cuando el filtro puede comenzar a ser operativo. Con el tiempo, la acumulación de sustancias filtradas en la arena produce una pérdida de carga, que cuando es importante se hace necesaria la limpieza del filtro, la cual se realiza interrumpiendo su funcionamiento y procediendo al descabezado del mismo, operación que suele hacerse de forma manual escarbando y eliminando la capa superficial de arena hasta una profundidad que oscila entre 5 y 7 cm, en función de la colmatación que se haya producido, para posteriormente proceder a reponer la arena desechada. Una vez realizada esta operación, se vuelve a poner en funcionamiento el filtro teniendo en cuenta que no será efectivo basta que se vuelva a formar la película biológica en su superficie, por lo que las baterías de filtros siempre tienen que estar duplicadas para que unos se encuentren en funcionamiento mientras que otros están en proceso de limpieza y reposición. El personal encargado del funcionamiento y regeneración de los filtros puede no ser demasiado experto, lo que representa una cierta ventaja.

Los principales inconvenientes de este tipo de filtros estriban, de una parte en la gran superficie de terreno necesaria para su instalación, teniendo en cuenta el escaso caudal de agua filtrada que proporcionan, y en que el precio de los terrenos aumenta el coste global del tratamiento del agua, y de otra, de la complejidad del mecanismo de limpieza. Asimismo proporcionan peores rendimientos en la eliminación de algas y color que otros tipos de filtros. Por contra, como ventajas hay que señalar que el mecanismo biológico de filtración es muy efectivo para la eliminación de microcontaminantes, uno de los problemas más importantes de algunas aguas brutas con inestabilidad biológica, y que la reducción de la turbidez inicial del agua y de los coliformes llega a ser de hasta el 90 % y 99 % respectivamente. Pese a ello, la utilización de filtros lentos de arena, antaño muy usual, es poco frecuente hoy día.

Filtros rápidos de arena

Suelen estar diseñados como construcciones o pozos abiertos, rellenos de arena, en los que el agua pasa a su través por gravedad, estando calculados para operar con caudales de 80 a 160 $L/m^2 \cdot min$, aunque se han diseñado filtros que pueden alcanzar hasta 500 $L/m^2 \cdot min$.

Los revestimientos del filtro pueden ser de cualquier material que resulte adecuado para el uso al que está destinado, fabricándose generalmente de hormigón o acero. El agua filtrada drena por conductos que se encuentran bajo un falso fondo perforado, conductos que están provistos de compuertas o válvulas que permiten, cuando la pérdida de carga es importante, el lavado de los filtros con agua ya depurada. Para ello, se inyecta a contracorriente, además del agua, aire comprimido, que rompe la estructura y compactación del filtro. En la parte superior del filtro se disponen unos canales de drenaje para facilitar la evacuación del agua sucia procedente de la limpieza (Fig. 10.17).

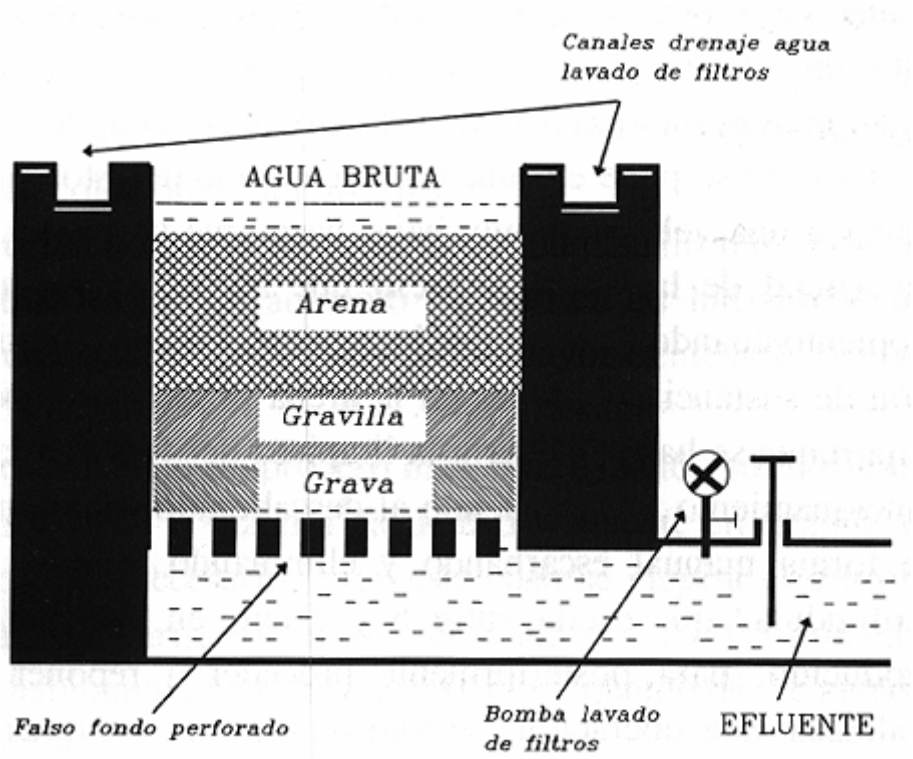

FIGURA 10.17. Esquema de filtro rápido de arena.

La arena que actúa como medio filtrante suele reposar sobre un lecho de grava que impide que el material más fino pase al fondo del filtro, a la vez que actúa como distribuidor y compensador de corrientes durante las operaciones de lavado. El tamaño efectivo de la arena de la capa filtrante oscila entre 0,5 y 1,5 mm de diámetro, mientras que el tamaño de la grava de la base puede oscilar entre 35 y 130 mm, dispuesta en capas de menor a mayor grosor, siendo esta última la que reposa sobre el falso fondo. El espesor de las capas es variable en función del agua a tratar y del rendimiento que se

quiera obtener de cada filtro en concreto. El espesor de la capa de arena puede oscilar entre 40 y 70 cm y el de las capas de grava entre 30 y 60 cm.

En función de las características del agua a tratar puede ser conveniente el diseño de filtros multicapa, consistentes en dos o más capas de materiales filtrantes de características diferentes. Una de las combinaciones más usuales es la filtración a través de arena y carbón activo, lo que permite retener algunas compuestos indeseables del agua según su capacidad de adsorción.

En ocasiones pueden aparecer grietas y bolas de lodo en el seno de la arena que reducen la eficacia de la filtración, lo que indicaría que el lavado ha sido insuficiente. Se pueden eliminar descabezando la superficie de la capa filtrante o bien mediante el empleo de un cedazo que permita separarlas de la arena. Si la presencia de bolas de lodo pasa inadvertida, pueden formarse aglomerados de mayor tamaño que durante el lavado podrían llegar a penetrar en la arena y depositarse sobre la capa de grava.

Filtros de presión

Su fundamento es el mismo que el de los filtros de gravedad y se diferencian en que la arena filtrante suele estar colocada en cilindros de acero, verticales u horizontales, capaces de resistir presiones hidráulicas de hasta 10 atmósferas. Los caudales de filtración son del orden de 125 $L/m^2 \cdot min$. Como ventajas hay que señalar que necesitan menos superficie que los de gravedad y como inconvenientes, la dificultad de aplicación de reactivos a presión, el que ni el lecho filtrante ni el agua filtrada sean visibles, así como que tampoco pueda observarse la operación de lavado.

Filtros de tierra de diatomeas

Estos filtros, también llamados de precapa, pueden eliminar partículas de hasta 0,1 μm sin necesidad de desestabilizarlas por coagulación. Se caracterizan por una gran superficie de filtración en relación al tamaño y peso de los filtros, lo que los hace más apropiados para equipos portátiles o bien para depuración a escala doméstica o individual. La filtración ocurre fundamentalmente en la superficie por microtamización, dónde se forma una especie de película filtrante, lo que condiciona que la capa filtrante sea de poco espesor, generalmente del orden de 3 mm, que, conforme va avanzando el proceso de filtración y se forma la película superficial, puede llegar a alcanzar hasta 10 mm o más. Retienen con gran eficacia fibras de asbestos, algas, coliformes, huevos y quistes de parásitos, suspensiones de arcilla, etc.

La filtración suele hacerse a presión o por un dispositivo de vacío. Pueden usarse para aguas que por su baja turbidez no necesiten tratamiento de coagulación-floculación, pues en caso contrario se colmatarían rápidamente con los flóculos formados. Sin embargo, su empleo más usual es para la depuración de aguas de piscinas.