

NUEVOS SISTEMAS DE FILTRACIÓN RÁPIDA DE ALTA TASA CON LECHOS ÚNICOS
Y MIXTOS

ANIBAL JOSE CORDOBA FERNANDEZ
1'032.445.716

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL
PAMPLONA
2016

NUEVOS SISTEMAS DE FILTRACIÓN RÁPIDA DE ALTA TASA CON LECHOS ÚNICOS
Y MIXTOS

MONOGRAFIA

ANIBAL JOSE CORDOBA FERNANDEZ
1'032.445.716

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero ambiental (monografía).

DIRECTOR:
JULIO ISAAC MALDONADO
ING. CIVIL

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL
PAMPLONA
2016

Firma del presidente del jurado

Firma de jurado

Firma de jurado

Tabla de contenido

1. Introducción	8
2. Antecedentes	9
3. Objetivos	10
3.1 Objetivo general.....	10
3.2 Objetivos específicos.....	10
4. Resumen	11
5. Filtración	12
6. Mecanismos responsables de la filtración	13
7. Mecanismos de transporte	14
7.1 Cernido.....	15
7.2 Sedimentación	15
7.3 Intercepción	15
7.4 Difusión	15
7.5 Impacto inercial	16
7.6 Acción hidrodinámica	16
8. Mecanismos de adherencia	18
8.1 Fuerzas de van der Waals	18
8.2 Fuerzas electrostáticas.....	18
8.3 Puente químico	19
9. Factores que influyen en la filtración.....	20
9.1 Tipo de partículas suspendidas	20
9.2 Tamaño de partículas suspendidas	20
9.3 Densidad de partículas suspendidas.....	21
9.4 Resistencia o dureza de las partículas suspendidas.....	21
9.5 Temperatura del agua por filtrar	21
9.6 Potencial zeta de la suspensión	21
9.7 PH del afluente.....	21
10. Características del lecho filtrante	22
10.1 Tipo del medio filtrante	22

10.2	Características granulométricas del material filtrante	22
10.3	Peso específico del material filtrante	23
10.4	Espesor de la capa filtrante.....	23
11.	Características hidráulicas	25
11.1	Tasa de filtración.....	25
11.2	Carga hidráulica disponible para la filtración	25
11.3	Método de control de los filtros	25
11.4	Calidad del efluente	25
12.	Tipos de filtración.....	26
12.1	Filtración lenta	27
12.2	Filtración rápida	28
12.3	Filtración ascendente.....	29
12.4	Filtración descendente.....	30
12.5	Filtración mixta	30
13.	Componentes del filtro	32
13.1	Medios filtrantes.....	32
13.1.1	Filtros de lecho único	32
13.1.2	Filtros de lecho mixto.....	32
13.2	Grava como soporte.....	32
13.3	Falso fondo.....	33
13.3.1	Tipos de falsos fondos.....	33
14.	Sistema de drenaje	36
15.	Control de filtros	37
15.1	Tasa de filtración constante.....	37
15.2	Tasa de filtración declinante	37
15.3	Funcionamiento del filtro	38
15.4	Numero de filtros.....	38
15.5	Lavado del filtro	39
15.6	Fluidificación de medios porosos.....	39
15.7	Hidráulica del lavado.....	39
15.8	Pérdida de carga en medios filtrantes expandidos.....	40
15.9	Sistema de lavado	40

15.10	Aplicación del agua de lavado.....	40
16.	Tasa de filtración o carga superficial para filtro de lecho único y mixto	41
17.	Aplicabilidad de la filtración de alta tasa	42
18.	Tipos de plantas de tratamiento de agua potable.....	43
18.1	Plantas de filtración rápida	43
18.2	Planta de filtración rápida completa.....	43
19.	Filtración directa	44
20.	Filtración convencional	45
20.1	Según la velocidad de filtración	45
21.	Filtros rápidos	46
21.1	Lechos de antracita	47
21.2	Lechos mezclados de arena y antracita	47
21.3	Filtración rápida por lecho único	48
21.4	Filtración rápida por lecho mixto	49
21.5	Consideraciones de la filtración con lecho mixto	50
22.	Aplicaciones para la filtración en arena.....	51
23.	Nuevas tecnologías.	52
23.1	Filtro Aquazur V	52
23.1.1	Lavado del filtro	52
23.1.2	Control operativo.....	53
23.1.3	Ventajas	53
23.1.4	Rango / rendimiento.....	53
23.2	Comparación entre un lecho filtrante de alta tasa monocapa y un bicapa autolavable.....	54
23.3	Filtro de lecho granular de doble capa como nueva tecnología de filtración	55
23.4	Filtro purificador de agua con sistema acumulable de compartimientos, ecológico, de larga duración y de fácil regeneración y limpieza.....	57
23.5	Filtro de KDF.....	59
23.5.1	Eliminación segura y efectiva:.....	59
23.5.2	Reduce o elimina.....	59
23.5.3	Extracción del cloro.....	60
23.5.4	Extracción de hierro	60
23.5.5	Extracción de hidróxido de sulfuro	60

23.5.6 Extracción de metales pesados.....	60
23.5.7 Control bacteriano	60
24. Recomendaciones.....	62
25. Conclusiones.....	63
26. Referencias bibliográficas.....	64

1. Introducción

A lo largo del tiempo la humanidad se ha visto en la necesidad de implementar soluciones adecuadas al tratamiento de agua para consumo, es de suma importancia, debido a que el agua es esencial para la supervivencia. Se debe garantizar el suministro de agua a la población cumpliendo con todos los parámetros biológicos, físicos y químicos dentro de los rangos establecidos por la resolución 2115 del 2007 de acuerdo a la clasificación de la fuente según su calidad. Se establece en la norma Ras 2000 como se deben implementar los sistemas de tratamientos de acuerdo al grado de contaminación que esta contenga, para la calidad de la fuente se deben caracterizar los parámetros de interés de la manera más completa posible en periodo seco y de lluvia.

Dentro de la filtración y sus tecnológicas hace parte la utilización de lechos únicos y mixtos en los tratamientos de agua potable que son imprescindible como sistema de seguridad para atrapar partículas coloidales que han pasado el módulo de sedimentación en planta, la filtración es un proceso mediante el cual se eliminan contaminantes del agua haciéndola pasar a través de un material poroso, este sistema es muy útil y eficaz ya que puede llegar a eliminar microorganismos como giardia y criptosporidium, bacterias y virus, además de corregir problemas de turbidez, color y olor (De_Vargas, L. 2004).

2. Antecedentes

Una de las mayores preocupaciones del ser humano es adecuar el agua para consumo en los estándares de limpieza y pureza, la utilización del subsistema de filtración dentro del sistema convencional de tratamiento de agua potable se remota en varias épocas a lo largo de la historia.

Los antiguos pueblos orientales usaban arena y barro poroso para filtrar el agua, también en Europa los romanos construyeron una red de acueductos y estanques donde podían traer agua desde distancias próximas a los 90 km también instalaron filtros para obtener agua de mayor calidad, existen registros en utilización de filtros en el año 4000 antes de cristo donde se recomendaban métodos de tratamiento tales como filtración a través de carbón, exposición a los rayos solares y ebullición (Pérez, 1992)

El primer sistema de suministro de agua potable a toda una ciudad, fue llevado a cabo por John Gibb, en 1804, quien logró abastecer de agua filtrada a la ciudad de Glasgow en escocia. En 1806 se pone en funcionamiento en Paris una gran planta de tratamiento de agua, en esta planta se dejaba sedimentar el agua durante 12 horas y luego se procedía a su filtración mediante filtros de arena y carbón y en 1827 James Simplón construye en Inglaterra un filtro de arena para tratar el agua potable. Ya en el siglo XX se estableció la filtración como un efectivo medio para eliminar partículas del agua, aunque el grado de claridad conseguido no era medible en esta época (Ramírez. F, 2016).

La filtración se mostró como un método de tratamiento efectivo para reducir la turbiedad y desinfectantes como el cloro jugaron un gran papel en la reducción del número de brotes epidémicos, En 1880 Pasteur explicó cómo organismos microscópicos podían transmitir enfermedades a través del agua. En el siglo XX se descubrió que la turbiedad del agua no era solo un problema estético; las partículas en las fuentes del agua tales como la materia fecal, podría servir de refugio a los patógenos (Ramírez. F, 2016).

La filtración y la desinfección con cloro del agua potable han sido responsables de gran parte del 50% de aumento de la expectativa de vida en los países desarrollados durante el mismo siglo. Los sistemas de abastecimiento de agua potable sin tratar, o con un tratamiento inadecuado, siguen siendo la mayor amenaza para la salud pública, especialmente en los países en desarrollo, donde casi la mitad de la población consume agua contaminada. En estos países, enfermedades como el cólera, la tifoidea y la disentería crónica son endémicas y matan a niños y adultos (Ramírez. F, 2016).

Hoy en día la filtración se considera el primer sistema efectivo utilizado en la potabilización con fines de salud pública

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

- Analizar e inferir sobre la filtración rápida de alta tasa con lechos únicos y mixtos.

3.2 Objetivos específicos

- Detallar el proceso de la filtración con lechos únicos y mixtos.
- Considerar la aplicabilidad de la filtración rápida como sistema de potabilización del agua.
- Designar ventajas y desventajas.

4. Resumen

Las plantas de abastecimiento de agua potable en su totalidad producen agua de buena calidad, en muchos casos la calificación del agua se le atribuye al agua cruda captada de cualquier fuente hídrica ya sean ríos, lagos, lagunas, manantiales, mares. Teniendo en cuenta que en este último se necesita un tratamiento más específico para la desalinización y su potabilización.

Para garantizar la calidad del agua en todos los casos se recurre a su tratabilidad por medios de sistemas hidráulicos, componentes químicos y físicos; Para eliminar contaminantes biológicos, bacteriológicos y virológicos, también sólidos suspendidos o cualquier material grueso arrastrado lo cual es característico del agua cruda.

En este sentido conocer y aplicar las tecnologías disponibles para purificar el agua es de hecho una necesidad, el proceso más empleado en toda Latinoamérica es el tratamiento convencional que consiste en un pretratamiento seguido de los procesos tales como coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección (Ndabigengesere & Narasiah, 1998).

Este es un trabajo teórico donde se pretende tratar el subsistema como nuevas tecnologías de filtración de alta tasa dentro de la potabilización del agua, se hablara como es su funcionamiento, su clase y tipos de filtros utilizados actualmente, centrándose en filtros de alta tasa con lechos únicos y mixtos.

5. Filtración

La filtración es un proceso mediante el cual se purifica el agua haciéndola pasar a través de un medio o material poroso granular, Este lecho de material granular es generalmente una capa de arena a través del cual el agua fluye de arriba a abajo a una velocidad que permiten que las materias en suspensión se adhieran, esto con el fin de separar las partículas y microorganismos objetables que no han quedado retenidos en el proceso de coagulación y sedimentación (De_Vargas, L. 2004).

En general, la filtración es la operación final de clarificación que se realiza en una planta de tratamiento de agua y, por consiguiente, es la responsable principal de la producción de agua de calidad coincidente con los estándares de potabilidad (De_Vargas, L. 2004).

6. Mecanismos responsables de la filtración

Cuando el agua sale de los sedimentadores puede contener aun partículas suspendidas que van desde tamaños relativamente grandes (1 mm) hasta partículas de tamaño coloidal, además de bacterias y virus (De_Vargas, L. 2004).

Evidentemente los mecanismos que transportan la materia en suspensión dentro del medio poroso se adhieren con mayor o menor eficiencia, deben ser distintos según sea el tamaño de las partículas, su densidad y las características electroquímicas (Willy.F, Escobar.C,2005).

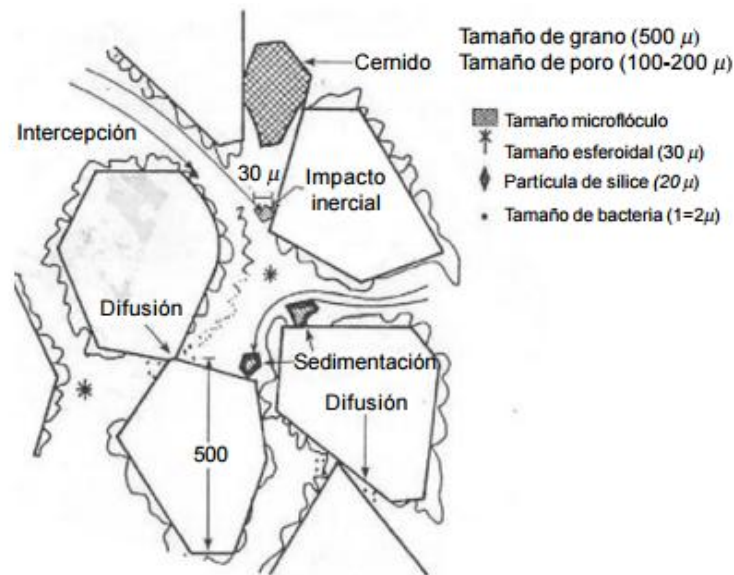
El floc grande, cuyo volumen es mayor que el de los poros del lecho filtrante queda atrapado en el filtro o retenido por simple cernido en los intersticios (Willy.F, Escobar.C, 2005).

Como las fuerzas que mantienen a las partículas removidas de la suspensión adheridas a las superficies de los granos del medio filtrante son activas para distancias relativamente pequeñas, la filtración es usualmente considerada como el resultado de dos mecanismos distintos pero complementarios; transporte y adherencia de partículas. Inicialmente, las partículas que serán removidas son transportadas de la suspensión a la superficie del lecho filtrante, las partículas quedaran adheridas a los granos del lecho, siempre y cuando resistan la acción de las fuerzas de corte debidas a las condiciones hidrodinámicas del escurrimiento (De_Vargas, L. 2004).

7. Mecanismos de transporte

El transporte de partículas es un fenómeno físico e hidráulico, afectado principalmente por los parámetros que gobiernan la transferencia de masas. Es interesante destacar que estas causas varían si la filtración se produce en las capas superficiales o en la profundidad del medio filtrante, en la acción superficial existe formación de un manto de partículas removidas que están localizadas encima de las primeras capas del medio filtrante, es responsable de aproximadamente el 90% de la pérdida de carga total, con respecto a la profundidad se tiene en cuenta la penetración de partículas profundas, produciéndose una distribución de pérdidas de carga en todo el medio filtrante (Willy.F, Escobar.C,2005). No obstante en el primer caso, la acción física de cernido es el factor dominante, mientras que en el segundo caso es el de menor importancia.

Los distintos mecanismos que pueden realizar transporte de las partículas dentro de los poros del medio filtrante están esquematizados en la figura 1.



De_vargas, L. (2004). Diferentes mecanismos que pueden realizar transporte. [Figura 1]. Recuperado de <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>.

Los mecanismos que pueden realizar el transporte son:

1. Cernido
2. Sedimentación
3. Intercepción
4. Difusión
5. Impacto inercial
6. Acción hidrodinámica

7.1 Cernido

Resulta evidente que cuando la partícula es de tamaño mayor que los poros del lecho filtrante, puede quedar atrapada en los intersticios, teniendo en cuenta que el espacio puede variar de acuerdo al diámetro de los granos. En general, actúa solo en las capas más superficiales del lecho y con partículas relativamente fuertes, capaces de resistir los esfuerzos cortantes producidos por el flujo, cuya velocidad aumenta en las constricciones (De_Vargas, L. 2004).

7.2 Sedimentación

Hazen, 1993 sugirió que la remoción de partículas de diámetros menores al de los poros podía deberse a la sedimentación de las partículas en la superficie de los granos, sin embargo durante mucho tiempo la contribución de este mecanismo no se consideró significativa, pues la velocidad de sedimentación de las partículas suspendidas y, especialmente, la de los pequeños flóculos, es mucho más pequeña en comparación con la velocidad intersticial

Según Arboleda, j (1992) La sedimentación solo puede producirse con material suspendido relativamente grande y denso cuya velocidad de asentamiento sea alta y en zonas del lecho donde la carga hidráulica sea baja.

7.3 Intercepción

Según camp(1964) la remoción del floc dentro del lecho es llevado a cabo primeramente por contacto de las partículas de floc con la superficie de los granos o con floc ya depositado o adherido a ellos.

Las partículas se mueven a lo largo de las líneas de corriente debido a que las partículas suspendidas tienen una densidad aproximadamente igual a la del agua, ellas serán removidas de la suspensión cuando, en relación con la superficie de los granos del medio filtrante, las líneas de corriente están a una distancia menor que la mitad del diámetro de las partículas suspendidas (Camp, 1964).

7.4 Difusión

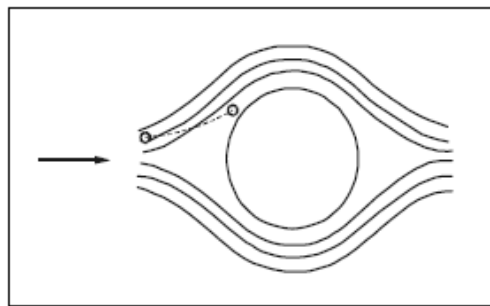
Tendencia de las partículas pequeñas a difundirse desde las áreas de mayor concentración a las áreas de menor concentración. Se ve influenciado el movimiento browniano puesto que es el movimiento aleatorio que se observa en algunas partículas microscópicas que se hallan en un medio fluido. Esto se ve representado en la figura 1 anterior. La eficiencia del filtro debida a la difusión es directamente proporcional a la temperatura e inversamente proporcional al diámetro de la partícula del grano (De_Vargas, L, 2004).

7.5 Impacto inercial

Cuando la velocidad es alta y la partícula es grande, debe tenerse en cuenta los efectos de la inercia, lo cuales hacen que aquella pueda seguir una trayectoria distinta a la de las líneas de flujo si adquiere suficiente cantidad de movimiento (De_Vargas, L, 2004).

Mientras las líneas de flujo se curvan las partículas pueden continuar su trayectoria original, impulsada por las fuerzas de inercia y chocar con el grano del filtro quedando adheridas a él. Esto se representa en la figura 2.

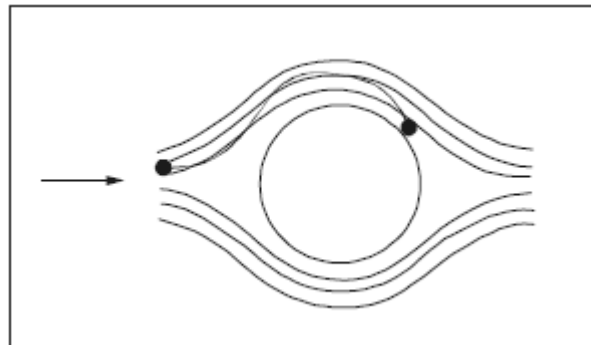
Este es el principio con el cual trabajan los filtros de aire. Su eficiencia es directamente proporcional a la velocidad del flujo e inversamente proporcional al diámetro del medio filtrante (Arboleda, J. 1992).



De_vargas, L. (2004).Mecanismos de impacto inercial. [Figura 2]. Recuperado de <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>.

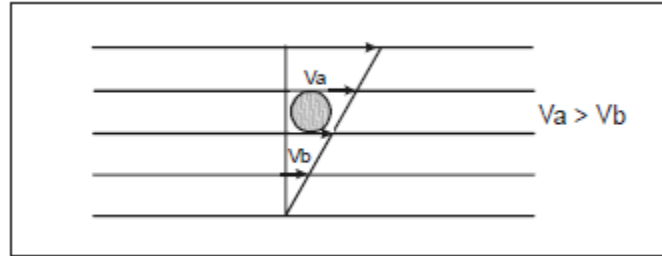
7.6 Acción hidrodinámica

La remoción de partículas de tamaño relativamente grandes ($10\ \mu\text{m}$) es atribuida a la acción hidrodinámica como se ve en la figura 3.



De_vargas, L. (2004).Mecanismos de acción hidrodinámica. [Figura 3]. Recuperado de <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>.

Las partículas relativamente grandes en un medio viscoso en movimiento laminar se ven influenciadas en sus extremos a velocidades diferentes, debido al gradiente de velocidades, como se indica esquemáticamente en la figura 4.



De_vargas, L. (2004). Acción de la tensión de cizallamiento. [Figura 4]. Recuperado de <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>.

Según Arboleda, j (1992) La diferencia entre V_a y V_b tiende a realizar que la partícula gire y produzca una diferencia de presión en dirección perpendicular al escurrimiento, lo que hará que la partícula sea conducida a una región de velocidad más baja. En la práctica de la filtración, el fenómeno es análogo y es válido para explicar la remoción de partículas de un tamaño del orden de $10 \mu\text{m}$

8. Mecanismos de adherencia

La adherencia es debida a fenómenos de acción superficial que son influenciados por parámetros físicos y químicos, entre las partículas y los granos depende principalmente de las características de las superficies de las partículas suspendidas y de los granos, las partículas se pueden adherir directamente tanto a la superficie de los granos como a partículas previamente retenidas (Arboleda. 1992).

El que cada contacto resulte efectivo y produzca o no adhesión de la partícula al medio filtrante, podría pensarse que depende más que de mecanismos puramente físicos, de una serie de factores químicos y electroquímicos, la variación de los cuales induce modificaciones en el comportamiento de los filtros (Arboleda,J. 1992).

Según Arboleda, 1992 los mecanismos que pueden realizar adherencia son:

1. Fuerzas de van der Waals
2. Fuerzas electroquímicas
3. Puente químico

8.1 Fuerzas de van der Waals

“V. Mackrle y S. Mackrle (1961) sugieren que las fuerzas de van der Waals son primariamente responsables de la adhesión de las partículas a los granos del filtro.

Las fuerzas de van der Waals son las fuerzas atractivas o repulsivas entre moléculas o entre partes de una misma molécula, distintas a aquellas debidas a un enlace intermolecular (Enlace iónico, Enlace metálico y enlace covalente de tipo reticular)”

Según Arboleda, j (1992) las fuerzas de van der Waals son independientes del pH y de las características de la fase acuosa. Por consiguiente, si estas fueran el único mecanismo de adhesión, la filtración seria independiente del pH lo que no concuerda con los resultados obtenidos en la práctica.

8.2 Fuerzas electrostáticas

Es la combinación de las fuerzas electrostáticas con las de van der Waals, De un modo general, las partículas sólidas sumergidas en agua presentan cargas en sus superficies, debido a una o más de las siguientes razones (De_Vargas, L. 2004):

- Disociación de iones en la superficie de las partículas.
- Cargas no balanceadas debido a las imperfecciones de la estructura del cristal.
- Reacciones químicas con iones específicos de la suspensión, con formación de enlaces químicos.
- Sustitución isomórfica en la estructura del cristal (De_Vargas, L. 2004).

8.3 Puente químico

La desestabilización de los coloides es efectuada por los productos de la hidrolisis que a determinados pH se polimerizan. Las cadenas poliméricas adheridas a las partículas dejan sus segmentos extendidos en el agua. Los que pueden ser absorbidos por otras partículas o por sitios vacantes en los granos del filtro. Este fenómeno es independiente de las fuerzas de van der Waals y de las cargas electrostáticas (Arboleda, J. 1992).

9. Factores que influyen en la filtración

La eficiencia de la filtración está relacionada con las características de la suspensión, del medio filtrante, de la hidráulica de la filtración y la calidad del efluente.

Se presentan a continuación los principales factores que influyen en la filtración rápida.

De modo general, la eficiencia de remoción de partículas suspendidas en un medio filtrante está relacionada con las siguientes características de la suspensión (De_Vargas, L. 2004).

Según Vargas, 2004. Características de la suspensión:

1. Tipo de partículas suspendidas
2. Tamaño de partículas suspendidas
3. Densidad de partículas suspendidas
4. Resistencia o dureza de las partículas suspendidas (flóculos)
5. Temperatura del agua por filtrar
6. Potencial zeta de la suspensión
7. PH del afluente.

9.1 Tipo de partículas suspendidas

La filtración de flóculos que no sedimentan en una planta de ablandamiento difiere sustancialmente del caso en que se tienen flóculos provenientes de un pretratamiento con un coagulante de una sal de hierro o aluminio. Por otro lado, el tipo de partículas primarias presentes en el agua cruda influye en la eficiencia de la filtración. Por ejemplo, la existencia de algas en el afluente influye en la formación de curvas de pérdida de carga de manera más acentuada que aquellos casos en que el afluente solo posee partículas suspendidas coaguladas de arcilla o sílice (De_Vargas, L. 2004).

9.2 Tamaño de partículas suspendidas

Existe un tamaño crítico de partículas suspendidas, del orden de 1 μm , el cual genera menos oportunidad de contacto entre la partícula suspendida y el grano del medio filtrante. Algunos productos químicos, como los coagulantes tradicionales y los polímeros, pueden usarse para ajustar el tamaño de las partículas suspendidas de modo de obtener una eficiencia mayor. Las partículas menores que el tamaño crítico serán removidas eficientemente, debido, principalmente, a la difusión; mientras que las mayores también serán removidas eficientemente debido a la acción de otros mecanismos, como la intercepción y la sedimentación (De_Vargas, L. 2004).

9.3 Densidad de partículas suspendidas

Cuanto mayor sea la densidad de las partículas suspendidas, mayor será la eficiencia de remoción de las partículas de tamaño superior al tamaño crítico, mencionado anteriormente.

9.4 Resistencia o dureza de las partículas suspendidas

La dureza de los flóculos es otro factor importante en la filtración rápida, pues los flóculos débiles tienden a fragmentarse y penetrar fácilmente en el interior del medio filtrante, lo que favorece el traspaso final de la turbiedad límite, mientras que los flóculos duros o resistentes no se fragmentan fácilmente, pero producen una pérdida de carga mayor (De_Vargas, L. 2004).

9.5 Temperatura del agua por filtrar

En general, el aumento de temperatura conduce a una eficiencia mayor, pues se tiene un aumento de energía termodinámica en las partículas del agua y, consecuentemente, la difusión se vuelve un mecanismo importante cuando se tienen partículas suspendidas menores de un micrómetro. Por otro lado, la disminución de la viscosidad facilita la acción del mecanismo de sedimentación de partículas mayores de un micrómetro (Arboleda, J. 1992).

9.6 Potencial zeta de la suspensión

Cuando el medio filtrante se encuentra limpio, la eficiencia de remoción depende de la concentración de partículas suspendidas en el afluente. Después de algún tiempo de filtración, la eficiencia de remoción aumenta con el aumento de la concentración de las partículas suspendidas en el afluente, pues las partículas retenidas hacen de colectoras de otras partículas suspendidas (De_Vargas, L. 2004).

Según Vargas, 2004 Evidentemente, al existir una eficiencia de remoción mayor con el aumento de la concentración, la curva de pérdida de carga en función del tiempo será más acentuada.

9.7 PH del afluente.

El pH influye en la capacidad de intercambio iónico entre las partículas suspendidas y los granos del medio filtrante. Para valores de pH inferiores a 7,0, disminuye el intercambio de cationes y aumenta el intercambio de aniones sobre las superficies positivas; mientras que, para valores de pH superiores a 7,0, se produce un aumento en el intercambio de cationes y una disminución en el intercambio de aniones sobre las superficies negativas (De_Vargas, L. 2004).

10. Características del lecho filtrante

Según Arboleda, 1992 Entre las características del lecho que influyen en la filtración, a continuación se presentan los más relevantes:

- a) Tipo del medio filtrante
- b) Características granulométricas del material filtrante
- c) Peso específico del material filtrante
- d) Espesor de la capa filtrante

10.1 Tipo del medio filtrante

Debe seleccionarse de acuerdo con la calidad que se desea para el agua filtrada. Adicionalmente, debe tenerse en cuenta la duración de la carrera de filtración (capacidad de retención) y la facilidad de lavado. Un medio filtrante ideal es aquel de granulometría determinada y cierto peso específico, que requiere una cantidad mínima de agua para ser lavado de manera eficiente y que es capaz de remover la mayor cantidad posible de partículas suspendidas, para producir un efluente de buena calidad (De_Vargas, L. 2004).

La arena ha sido el medio filtrante comúnmente empleado. A pesar de producir un efluente de mejor calidad, la arena de granulometría menor presenta una carrera de filtración más corta que la de granulometría mayor (Willy.F, Escobar.C, 2005).

La filtración en medios filtrantes dobles, constituidos por antracita y arena, es, desde todo punto de vista, superior a la filtración en medios constituidos únicamente por arena, como lo demuestran los trabajos de investigación realizados en instalaciones piloto y en prototipos, publicados por la “Water Research Association”, en Inglaterra.

Arboleda, 1992 La elección del medio filtrante depende de innumerables factores. Entre los más importantes figuran la calidad deseada para el efluente, los costos y la facilidad de adquisición de los materiales en el mercado, y la existencia de personal calificado para operar las instalaciones de filtración.

10.2 Características granulométricas del material filtrante

Según Vargas, 2004 Los parámetros que se deben emplear aquí son los siguientes:

- Tamaño efectivo: en relación con el porcentaje (en peso acumulado) que pasa por las mallas de una serie granulométrica, el tamaño efectivo se refiere al tamaño de granos correspondiente al porcentaje de 10%.
- Coeficiente de uniformidad (CU): en relación con el porcentaje (en peso acumulado) que pasa por las mallas de una serie granulométrica, el coeficiente de

uniformidad es igual a la relación entre el tamaño de los granos correspondientes a 60% y el tamaño de los granos correspondiente a 10%.

- Forma: El coeficiente de esfericidad de una partícula se define como el resultado de la división del área superficial de la esfera de igual volumen a la del grano por el área superficial de la partícula considerada
- Tamaño mínimo: tamaño por debajo del cual no deben encontrarse granos en el medio filtrante.
- Tamaño máximo: tamaño por encima del cual no deben encontrarse granos en el medio filtrante.

Si de tratarse de seleccionar el material del lecho de un medio múltiple. Se debe hacer con el criterio de obtener un grado de intermezcla que no disminuya sustancialmente la porosidad en la región común entre las capas adyacentes de materiales diferentes. Específicamente para el caso de lechos dobles de arena y antracita, se recomienda considerar las siguientes relaciones (De_Vargas, L. 2004):

- El tamaño de los granos de antracita correspondiente a 90% en peso (referente al que pasa) y el tamaño de los granos de arena correspondiente a 10% en peso (referente al que pasa = tamaño efectivo) deben mantener una relación de 3,0 (De_Vargas, L. 2004).
- El tamaño de los granos de antracita correspondiente a 90% en peso (referente al que pasa) y el tamaño de los granos de antracita correspondiente a 10% en peso (referente al que pasa) deben mantener una relación de 2,0 (De_Vargas, L. 2004).

10.3 Peso específico del material filtrante

El peso específico (Pe) del material es igual al peso de los granos dividido por el volumen efectivo que ocupan los granos (De_Vargas, L. 2004).

10.4 Espesor de la capa filtrante

En una planta de tratamiento de agua con filtros de dos o más capas, es relativamente difícil fijar un espesor de medio filtrante para el cual los filtros funcionen constantemente en condiciones ideales, porque la calidad del afluente varía considerablemente durante el año. La experiencia ha demostrado que existe una relación entre el espesor de la capa de arena y la de antracita en un filtro de dos medios; en general, el espesor de la capa de antracita representa de 60 a 80%; y la arena, de 20 a 40% del espesor total del medio filtrante. De este modo, un medio filtrante de 70 cm de espesor tendrá aproximadamente 50 cm de antracita y 20 cm de arena (Arboleda, J. 1992).

Asimismo, para el caso de filtros de lecho simple, la experiencia y diversas investigaciones han permitido establecer espesores recomendados para diferentes casos: filtración de agua decantada, filtración directa o filtración descendente o ascendente (De_Vargas, L. 2004).

11. Características hidráulicas

Según Arboleda, 1992 Las principales características hidráulicas presentes en la carrera de filtración son las siguientes:

- a) Tasa de filtración
- b) Carga hidráulica disponible para la filtración
- c) Método de control de los filtros
- d) Calidad del efluente.

11.1 Tasa de filtración

La tasa de filtración es el volumen de fluido filtrado por unidad de tiempo. El empleo de tasas de filtración bajas no asegura, necesariamente, la producción de agua filtrada de mejor calidad y mayor volumen de agua producida por carrera de filtración. Cuando el pretratamiento es eficiente la calidad del efluente es prácticamente el mismo, sin embargo cuando es deficiente la calidad del filtrado es mejor para tasas de filtración muy bajas (De_Vargas, L. 2004).

11.2 Carga hidráulica disponible para la filtración

La carga hidráulica que se debe fijar en un filtro influye significativamente en la duración de la carrera de filtración. Este parámetro es empírico y normalmente es seleccionado por el proyectista, Sin embargo, estudios realizados por Di Bernardo y Cleasby mostraron que los filtros de tasa declinante producen carreras de filtración más largas que los de tasa constante para una misma pérdida de carga en el medio filtrante y la misma tasa de filtración promedio (De_Vargas, L. 2004).

11.3 Método de control de los filtros

El método de control de los filtros también influye en la eficiencia de estas unidades. Los métodos de control operacional más utilizados son tasa constante y tasa declinante (De_Vargas, L. 2004).

11.4 Calidad del efluente

La calidad del efluente debe ser óptima para filtración, en cuanto a medidas o parámetros de calidad la turbiedad es el factor que juega el papel más importante, pues no debe superar el agua de 2 UNT y, de preferencia, tampoco ser mayor de una UNT. Se recomienda que el agua filtrada no presente color (Arboleda, J. 1992).

Visto desde el punto bacteriológico los filtros constituyen una barrera sanitaria a los microorganismos, al tener una eficiencia de remoción superior a 99%.

12. Tipos de filtración

Según Arboleda, 1992 La filtración puede efectuarse en muchas formas:

- Filtros lentos: Con baja carga superficial.
- Filtros rápidos: Con alta carga superficial.
- Medios porosos: Pastas arcillosas, papel de filtro
- Medios granulares: Arena, Antracita, granate o combinados.
- Flujo ascendente: De abajo hacia arriba.
- Flujo descendente: De arriba hacia abajo.
- Mixto: Parte ascendente y parte descendente.

El filtro puede trabajar a presión o por gravedad, según sea la magnitud de la carga hidráulica existente en el lecho filtrante. En la tabla 1 se presenta una clasificación de acuerdo a lo anterior (Arboleda, J. 1992).

Tabla1.
Clasificación de los filtros.

Según la velocidad de filtración	Según el medio filtrante usado	Según el sentido del flujo	Según la carga sobre el lecho
Rápidos 20-360 m ³ /m ² /día	1. Arena (h=60-75cm)	Ascendentes	Por gravedad
	2. Antracita (h=60-75)	Descendentes	Por presión
	3. Mixtos Antracita (35-50cm) Arena (20-35cm)	Flujo Mixto	
	4. Mixtos: Arena, Antracita, Granate		
Lentos 7-14 m ³ /m ² /día	Arena (h=60-100cm)	Descendente Ascendente Horizontal	Por gravedad

Arboleda, J. (1992) Teoría de la filtración del agua. [Tabla 1]. Recuperado de teoría y práctica de la purificación del agua.

La filtración se identifica por la velocidad del agua a través del manto filtrante, medida como rata o carga superficial, es decir el cociente entre el caudal de diseño y el área filtrante (Arboleda, J. 1992).

12.1 Filtración lenta

La filtración lenta se caracteriza por ser sencilla y de baja velocidad de filtración, eficiente, de mayor área de filtración y por consiguiente tiene mayor costo inicial. Sin embargo, su simplicidad y bajo costo de operación y mantenimiento lo convierte en un sistema ideal para zonas rurales y pequeñas comunidades, teniendo en cuenta además que los costos por área de terreno son comparativamente menores en estas ZONAS (Cánepa de Vargas, L, Pérez Carrión, J. 1992).

Huisman & Wood describieron en 1974 el método de desinfección por medio de la filtración lenta, como la circulación del agua cruda a baja velocidad a través de un manto poroso de arena. Durante el proceso, las impurezas entran en contacto con la superficie de las partículas del medio filtrante y son retenidas, desarrollándose adicionalmente procesos de degradación química y biológica que reducen la materia retenida a formas más simples, las cuales son llevadas en solución o permanecen como material inerte hasta un subsecuente retiro o limpieza.

Existen algunos casos en los que se tiene que estudiar más detalladamente la utilización de este sistema para mejorar la calidad del agua a tratar e incluso descartarlo. Estos son los siguientes:

Ventajas

- La mayor ventaja de esta unidad reside en su simplicidad. El filtro lento sin controlador de velocidad y con controles de nivel mediante vertederos es muy sencillo y confiable de operar con los recursos disponibles en el medio rural de los países en desarrollo.
- No existe otro método que consiga un tratamiento del agua tan efectivo sin aplicar un tratamiento físico, químico o bacteriológico agresivo.
- No existe la posibilidad de contaminar cursos de agua cercanos, ya que no se utilizan elementos químicos. Además los lodos se pueden usar como fertilizantes naturales para los cultivos.

Desventajas

- El filtro lento sin pretratamiento, no debe operar con aguas con turbiedad mayor de 20 ó 30 UNT; esporádicamente se pueden aceptar picos de 50 a 100 UNT.
- La eficiencia de esta unidad se reduce con la temperatura baja
- La presencia de biocidas o plaguicidas en el afluente pueden modificar o destruir el proceso microbiológico en el que se basa la filtración lenta.
- En zonas con inviernos muy fríos, se tendrían que instalar protecciones contra el frío.

12.2 Filtración rápida

También conocida como filtración de alta tasa, En el proceso de filtración rápida el agua que atraviesa el lecho filtrante a velocidades elevadas, representado anteriormente en la tabla 1. El agua a tratar pasa a través de un lecho de filtro granular o cama de arena, disminuyendo la superficie necesaria en comparación con los filtros de arena lento (Arboleda, J. 1992).

Debido a la resistencia al agua por un lecho granular, las tasas mencionadas anteriormente sólo se pueden lograr cuando se utiliza material de filtro más grueso y regular, que permitirá el adherimiento de material suspendido y contaminantes presentes en el agua cruda a mayores profundidades haciendo posible el alto almacenamiento de sólidos en suspensión (Willy.F, Escobar.C, 2005).

La filtración rápida es usualmente empleada para fines de abastecimiento público. Puede ser de flujo ascendente, obteniéndose así el denominado “filtro ruso”, y ser operado con tasa de filtración constante o declinante. Cuando es de flujo descendente la filtración rápida puede realizarse con tasa declinante o constante, en filtros de capa única de arena o de capas múltiples (Willy.F, Escobar.C, 2005).

Ventajas

- La filtración de alta tasa tiene una amplia capacidad de remoción de sólidos finos y contaminantes orgánicos (bacterias y microorganismos) e inorgánicos (hierro, manganeso, arsénico).
- El tratamiento combinado de coagulación con filtración convencional logra una remoción de 99 a 99,99% de quistes y oquistes. La filtración es la mejor manera de optimizar el proceso

Desventajas

- La filtración rápida no garantiza la remoción de Giardia y Cryptosporidium
- Se ha demostrado la presencia de Cryptosporidium en el agua de retrolavado de los filtros, por lo que se considera que es una fuente potencial de contaminación

12.3 Filtración ascendente

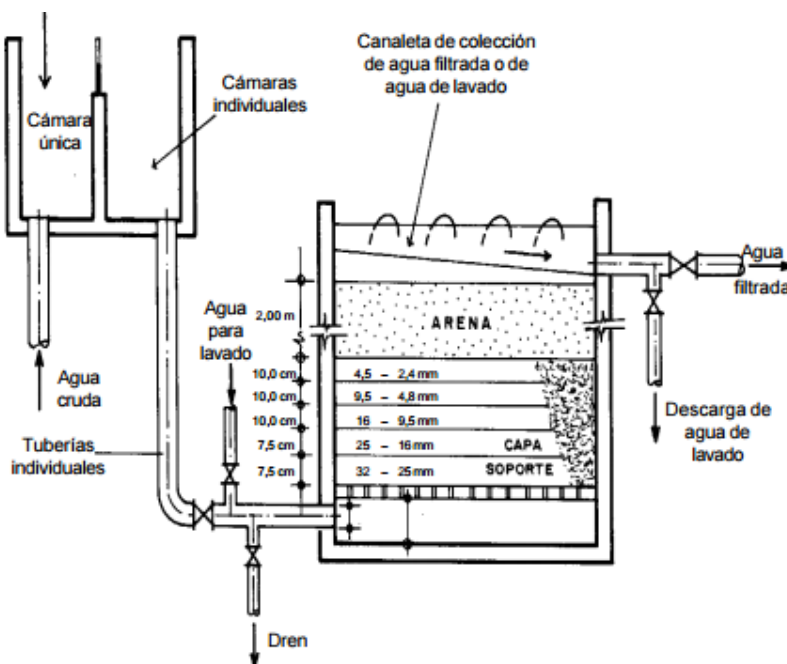
La filtración ascendente presenta la ventaja de que el agua afluyente escurre en el sentido en que los granos del medio filtrante disminuyen de tamaño, lo que hace posible que todo el medio filtrante, constituido por arena, sea efectivo en la remoción de partículas suspendidas (De_Vargas, L. 2004).

La aplicación más ventajosa de este tipo de unidades es la filtración directa, en la que los productos químicos se aplican y dispersan en el agua cruda antes de la filtración. En seguida, el agua es conducida a los filtros por la parte inferior. Este tipo de unidades están siendo muy utilizadas en algunos países de Europa, de América del Sur y de Centroamérica (De_Vargas, L. 2004).

Según Vargas, 2004 Las principales características comunes a estas unidades son las siguientes:

- Tasa de filtración: 120 a 200 m³ /m² /día.
- Fondo de los filtros: tipo Leopold, tuberías perforadas y placas perforadas son los más comunes.
- Distribución de agua a los filtros: caja provista de vertederos, de la cual parten tuberías individuales o tuberías individuales provistas de medidores y reguladores de caudal.

La figura 4 muestra, en forma esquemática, el diseño de un filtro de flujo ascendente de tasa constante con fondo de placas perforadas.



De_vargas, L. (2004). Filtro de flujo ascendente de tasa de filtración constante. [Figura 4]. Recuperado de <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>.

12.4 Filtración descendente

Sistema que normalmente se prefiere diseñar en los sistemas de abastecimiento públicos debido a su mayor simplicidad ya que facilita y garantiza su adecuado mantenimiento.

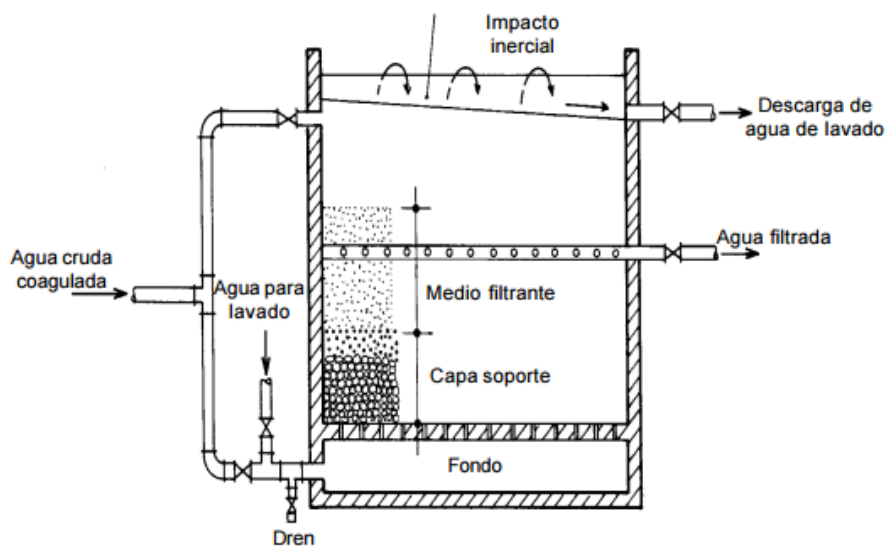
Hasta hace pocos años, los filtros descendentes por gravedad eran diseñados para funcionar únicamente con tasa constante, y generalmente iban provistos de dispositivos automáticos de control de caudal y nivel. En los últimos años se han desarrollado tecnologías que han simplificado sensiblemente la forma de operación de los filtros de gravedad, como la operación mediante tasa declinante (De_Vargas, L. 2004).

12.5 Filtración mixta

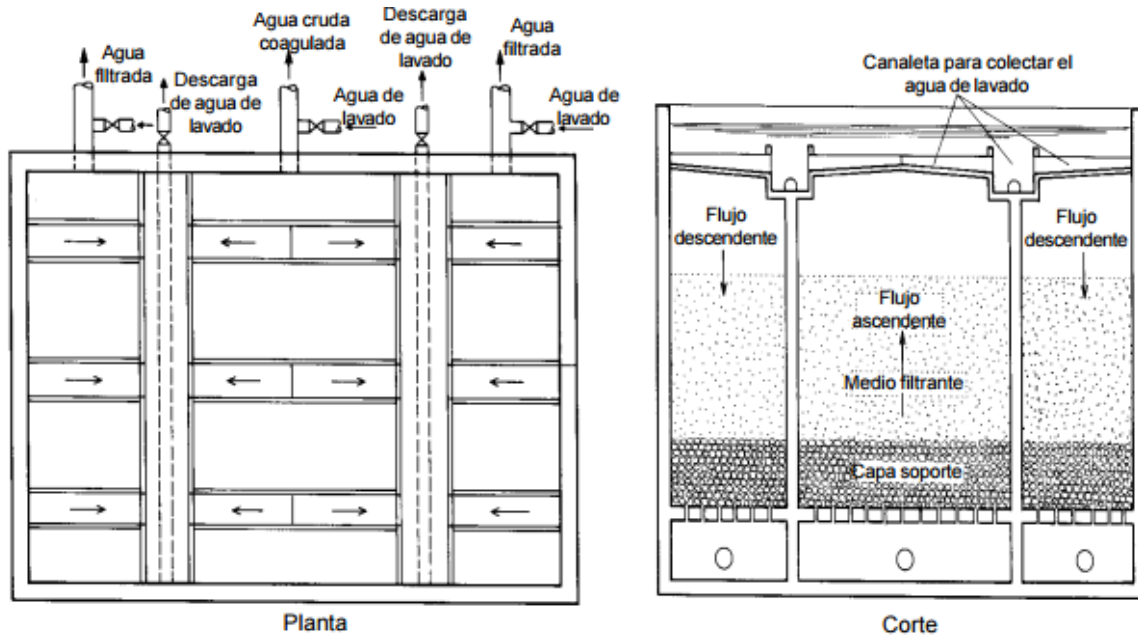
La idea de realizar la filtración ascendente y descendente surgió después de constatar la posibilidad de fluidificación del medio filtrante al momento de la filtración ascendente y del consecuente perjuicio de la calidad del agua filtrada. Surgieron los filtros denominados Bi-Flow (De_Vargas, L. 2004).

Donde parte del agua cruda coagulada es introducida en la parte superior, y la restante en la parte inferior del filtro. La colección se hace por medio de tuberías provistas de bocas e instaladas en el interior del medio filtrante. La figura 5 presenta, en forma esquemática, este tipo de instalación (De_Vargas, L. 2004).

Este tipo de instalación presenta el inconveniente de que la colección del agua se hace en el interior del medio filtrante, donde las bocas se pueden obstruir con el tiempo, por lo que requieren un mantenimiento rutinario (De_Vargas, L. 2004).



Según Vargas, 2004 Para controlar esta situación, aparecieron los superfiltros, los cuales realizan la filtración ascendente y descendente. Se realiza, en primer lugar, la filtración de flujo ascendente y, en seguida, la de flujo descendente. La figura 6 presenta un esquema en planta y en corte de una instalación típica de superfiltración.



De_vargas, L. (2004). Arreglo de una instalación de superfiltración. [Figura 6]. Recuperado de <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>.

13. Componentes del filtro

13.1 Medios filtrantes.

13.1.1 Filtros de lecho único

En los medios de arena convencionales, la permeabilidad aumenta con la profundidad del filtro. En estas condiciones, los granos más pequeños quedan arriba y los más grandes abajo. Esto significa que a medida que el flóculo penetra dentro del lecho, encuentra poros más y más grandes por donde puede pasar con más facilidad. Es obvio que debido a esta estratificación inconveniente, el mayor porcentaje de partículas queda retenido en la superficie y, por lo tanto, la capacidad de almacenamiento de flóculos es limitada (De_Vargas, L. 2004).

13.1.2 Filtros de lecho mixto

La solución lógica al problema de los filtros de lecho simple consiste en conseguir que la permeabilidad del lecho disminuya con la profundidad, de forma que los flóculos puedan penetrar y encontrar el medio más fino en las capas inferiores del filtro y el más grueso en las capas superiores. Como al emplear un solo tipo de material granular esto no es posible, pues el flujo de lavado lo estratifica en sentido contrario, se pensó en utilizar medios de diferentes densidades, de manera que los granos gruesos fueran de un material poco denso, para que el flujo ascendente de lavado los estratifique y queden encima de los granos finos, cuya densidad es mayor (De_Vargas, L. 2004).

13.2 Grava como soporte.

La grava principalmente tiene dos funciones, servir de soporte al medio filtrante para que no se pierda el material por el drenaje durante la filtración y distribuir uniformemente el agua de lavado para evitar la formación de chorros (Arturo, j, Pérez. 2010).

Debe ser colocada manualmente durante la construcción del filtro y por lo general se coloca una capa de 0.40m, en la tabla 2 se representa la colocación de acuerdo a su posición y su diámetro en pulgadas (Arturo, j, Pérez. 2010).

Tabla 2
Posición de la grava

Posición	Espesor (Cm)	Tamaño (in)
En el fondo	12	2-1
Segunda capa	7	1-1/2
Tercera capa	7	1/2-1/4
Cuarta capa	7	1/4-1/8
Capa superficial	7	1/8-1/12

Arturo, j,perez. Tratamiento de aguas. Capitulo4. [Tabla2]. Recuperado de universidad nacional – facultad de minas.

13.3 Falso fondo

El falso fondo en el filtro tiene dos funciones principales competentes, dejar una cámara en la parte inferior del filtro que recoge toda el agua filtrada uniformemente y distribuir el agua de lavado con presión uniforme. Si la cámara no es suficientemente grande, la distribución de presión sería decreciente (Arturo, j, Pérez. 2010).

Suponiendo una velocidad mayor que entra por la salida de la cámara a una velocidad 2 dentro de la cámara; como a mayor velocidad menor presión, presentado por la cabeza hidráulica, si se aumenta el tamaño de la cámara para que la velocidad se disminuya, toda la cabeza de velocidad tiende a ser pequeña, con la cual la distribución de presión se uniformiza (Arturo, j, Pérez. 2010).

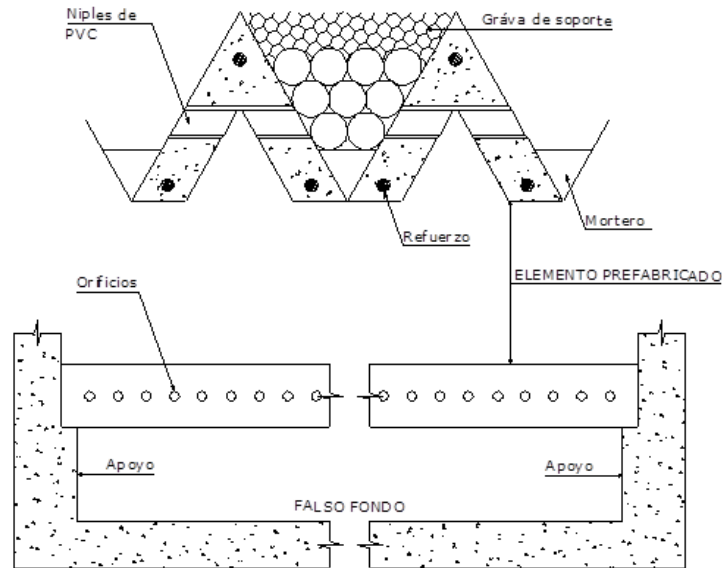
Como una recomendación de tipo general, la altura de la cámara inferior debe ser por lo menos de 0.50m (Arturo, j, Pérez. 2010).

13.3.1Tipos de falsos fondos.

Existen varios tipos de falsos fondos, entre los que se pueden mencionar los siguientes:

Falso fondo de asbesto cemento: Estos son fabricados en el país y tienen medidas de 0.60 m por 0.60 m, con un espesor de 0.02 m (Leopol, 1999).

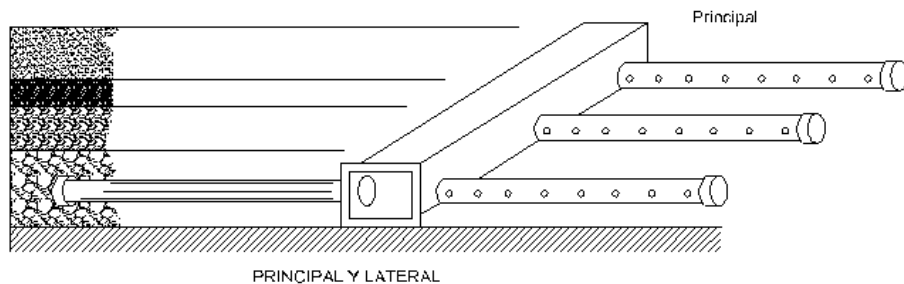
Falsos fondos prefabricados: En la siguiente figura 7 se representa, estableciendo sus partes. Dimensiones por el diseñador (Leopol, 1999).



[Figura 7]. Falso fondo con viguetas prefabricadas. Fuente:

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido_en_linea_Disenio_de_Plantas_Potabilizadoras/leccin_43__caractersticas_de_los_filtros.html.

Tuberías perforadas para trabajo con grava: En la figura 8 se representa, las tuberías van en el piso del filtro, no existe cámara.



[Figura 8]. Tuberías perforadas para trabajo con grava. Fuente:

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido_en_linea_Disenio_de_Plantas_Potabilizadoras/leccin_43__caractersticas_de_los_filtros.html.

Falso fondo leopol: Las dimensiones de diseño se presentan en tabla 3 a continuación (Tipo STM, 1999). Se esquematiza en la figura 9.

Según Leopol, 1999. Beneficios:

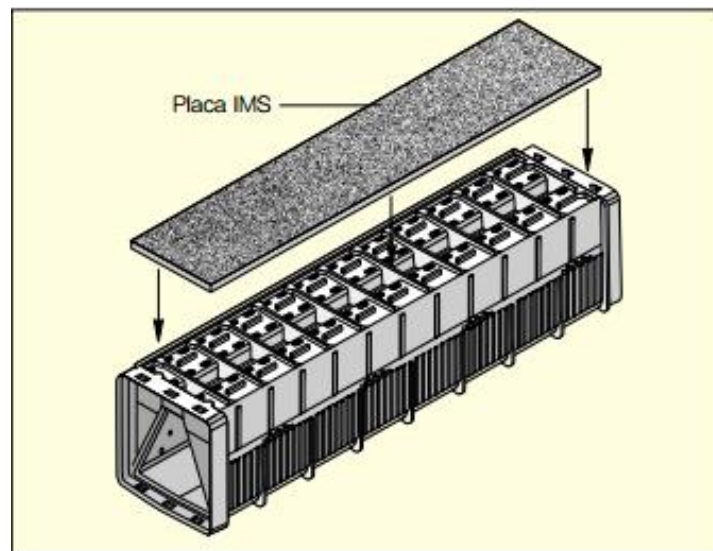
- Elimina la grava de soporte
- Liviana
- Cambio fácil a medio filtrante más profundo o carbón
- Distribución de flujo comprobada
- Removible para inspección

- Compatible con las sustancias químicas de tratamiento de agua

Tabla 3
Dimensiones de diseño.

	Tipo S	Tipo SL
Material	Polietileno de alta densidad	Polietileno de alta densidad
Tamaño	L – 1.22m (nominal) A – 0.28m (nominal) H – 0.30m (nominal)	L – 1.22m (nominal) A – 0.28m (nominal) H – 0.20m (nominal)
Peso	11.4 kg (aprox)	8.6 kg (aprox)

Fuente: Tipo S™, La Tecnología que Marca el Paso de Leopold Company. Parte de un sistema de filtración de agua, potable o residual. Recuperado de <http://www.xylemwatersolutions.com/scs/mexico/es-mx/Marcas/leopold/Documents/Falso%20fondo.pdf>



[Figura 9]. Falso fondo leopol. Fuente: <http://www.xylemwatersolutions.com/scs/mexico/es-mx/Marcas/leopold/Documents/Falso%20fondo.pdf>

14. Sistema de drenaje

La función del sistema de drenaje que se coloca en el fondo del filtro es doble:

- Recolectar y extraer uniformemente el agua filtrada
- Distribuir el agua de lavado con presión uniforme

Según Arboleda Valencia, 2000 Los sistemas de drenaje pueden clasificarse en tres tipos: tuberías perforadas, falsos fondos y placas porosas. Cada tipo de drenaje tiene especificaciones, tamaños y formas diferentes que dependen de las casas matrices, 'en caso de que sean estructuras patentadas, o de los planos de construcción que originan un proceso de cálculo, cuando éstas son dimensionadas por el proyectista. En la tabla 4 se especifican los tipos de drenajes aceptados por el ras 2000.

Tabla 4.
Sistema de drenaje

Tipo	Consiste en	Se usa con
Tubería perforada	Tubo principal y laterales perforados, se emplea con grava, bloques difusores o boquillas insertadas	Lavado con solo agua, con o sin lavado superficial para alta o baja velocidad descendente
Falsos fondos	Bloques perforados de arcilla	Lavado con solo agua, con o sin lavado superficial para alta velocidad ascendente
	Bloques o canaletas perforadas en acero o plástico para uso con o sin grava	Lavado con aire primero y agua después o con aire y agua simultáneamente, con alta o baja tasa de lavado.
	Boquillas de cola corta	Lavado con solo agua y alta velocidad ascendente con o sin lavado superficial
	Boquillas de cola larga	Lavado con aire y agua simultáneamente para baja velocidad ascendente
	Prefabricados de concreto para uso con grava	Lavado mutuo con agua de un filtro con el flujo de los otros, para velocidad ascendente. Para el lavado mutuo pueden utilizarse los otros sistemas adecuándolos debidamente
Placas porosas	Placas flexibles para replazó de grava	Lavado con aire y agua o agua sola según el dren y alta velocidad ascendente

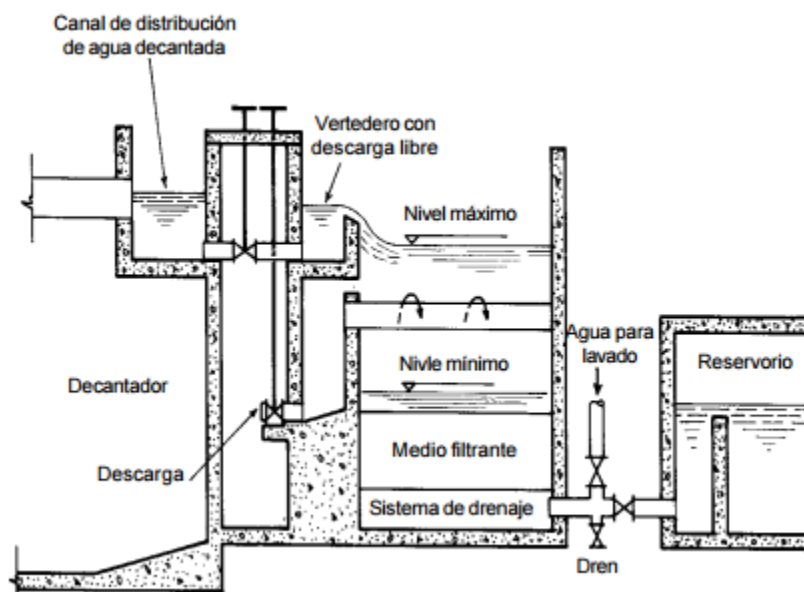
Fuente: (arboleda valencia, 2000) Recuperado de teoría y práctica de la purificación del agua.

15. Control de filtros

15.1 Tasa de filtración constante

Cuando el afluente es constante y la entrada a los filtros se hace de modo que el caudal total es dividido equitativamente y permite que el nivel del agua en el interior de cada filtro varíe independientemente de los otros, la tasa de filtración será constante si la resistencia del filtro es acompañada por el aumento de la carga hidráulica disponible. El nivel de agua variara desde un mínimo, cuando el medio filtrante se encuentra limpio; hasta un máximo, cuando el filtro debe lavarse. Al inicio de la operación, el medio filtrante estará limpio y por lo tanto, para evitar que el nivel mínimo se localice debajo de la superficie de la capa filtrante, debe preverse la instalación de una válvula en la tubería del efluente para ajustar el nivel mínimo (Willy.F, Escobar.C, 2005).

La figura 10 muestra las características principales de arreglo típico de entrada y salida de los filtros cuando se emplea este método de control.



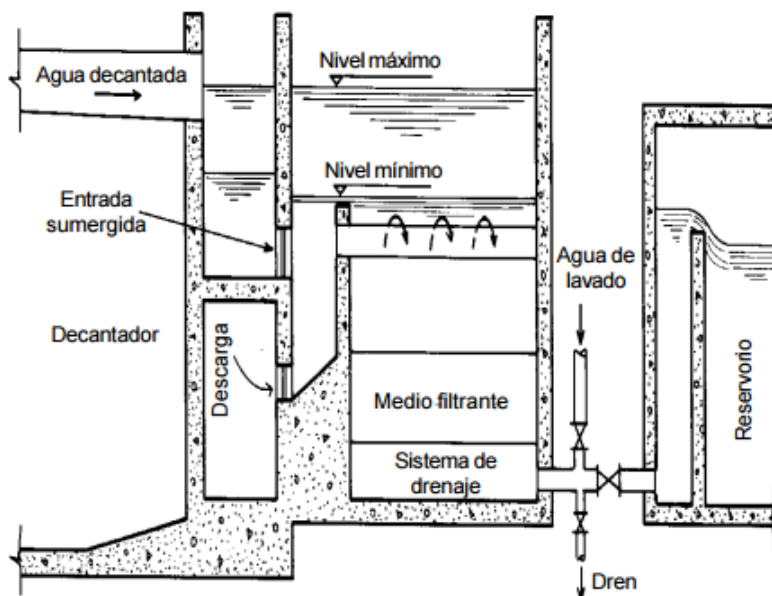
De_vargas, L. (2004). Arreglo típico de entrada y salida de los filtros de tasa constante. [Figura 10]. Recuperado de <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>.

15.2 Tasa de filtración declinante

Otro sistema de operación consiste en aquel donde la carga hidráulica disponible es íntegramente aplicada desde el inicio hasta el final de la carrera de filtración, lo que conlleva, con el transcurso del tiempo, una disminución gradual del caudal filtrado. Se sabe también que la calidad del efluente con tasa declinante es superior, con carreras de filtración más largas, en relación con la obtenida en filtros operados con tasa constante

(De_Vargas, L. 2004). Algunas modificaciones introducidas en el sistema de tasa constante permitieron que se pudiese emplear con éxito el sistema de tasa declinante. Este es semejante al de la figura 4, con la diferencia de la entrada, que es hecha debajo del nivel mínimo de operación de los filtros, como lo muestra la figura 11.

Como la distribución de agua hacia cada una de las unidades de filtración de la misma batería es hecha por medio de una tubería o un canal común de dimensiones relativamente grandes (para que la pérdida de carga pueda ser considerada despreciable), el nivel de agua es prácticamente el mismo en todos los filtros que integran la batería y en el canal común de distribución de agua (principio de vasos comunicantes) (De_Vargas, L. 2004).



De_vargas, L. (2004). Esquema de sistema de filtración con tasa declinante sin almacenamiento sustancial de agua arriba de los filtros. [Figura 11]. Recuperado de <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>.

15.3 Funcionamiento del filtro

El agua sedimentada es conducida y repartida al filtro mediante un canal con orificios. Como el filtro inicialmente está limpio, el agua adquiere en la caja del filtro un nivel mínimo suficiente para vencer las pérdidas por fricción que se generan con el paso del agua a través del lecho filtrante, la grava de soporte y el falso fondo. Con el transcurso del tiempo, el lecho filtrante se va obstruyendo paulatinamente. Generando cada vez más pérdida de carga hasta que el agua alcanza su nivel máximo dentro del filtro. Antes de que esto suceda se procede al lavado del filtro (Arturo, j, Pérez. 2010).

15.4 Numero de filtros.

El número mínimo de unidades depende del tamaño que se quiera dar a cada una y la tasa de filtración con que se quiere trabajar, para un determinado caudal de diseño. Por razones

de operación se deben construir mínimo 3 filtros, excepcionalmente 2, cuando se usa un lavado convencional, proveniente de un tanque. Y por lo menos 4 cuando se lava un filtro con el agua proveniente de otras unidades denominado sistema autolavante, de manera que cuando un filtro este en lavado o en mantenimiento no se suspendería el servicio por el funcionamiento de los demás (Arturo, j, Pérez. 2010).

15.5 Lavado del filtro

Durante el proceso de filtrado, los granos del medio filtrante retienen material hasta obstruir el paso del flujo, lo que obliga a limpiarlos periódicamente.

En los filtros rápidos esto se realiza invirtiendo el sentido del flujo, inyectando agua por el falso fondo, expandiendo el medio filtrante y recolectando en la parte superior el agua de lavado (Arturo, j, Pérez. 2010).

Es la operación en la que se suspende la filtración es una de las unidades y se invierte en ella el sentido del flujo con una velocidad aceptable para producir la expansión del medio filtrante, para que los granos froten entre si y desprendan todo el material que ha quedado retenido durante la filtración (Arturo, j, Pérez. 2010).

Se debe ejecutar:

- A. Cada vez que la pérdida de carga en cualquier unidad sea igual a la carga máxima sobre el lecho
- B. Cuando el efluente de cualquier unidad desmejora. Lo que se presenta primero.

15.6 Fluidificación de medios porosos.

Cuando se introduce un flujo ascendente en un medio granular, la fricción inducida por el líquido al pasar entre las partículas produce una fuerza que se dirige en sentido contrario a la del peso propio de los granos y que tiende a reorientarlos en la posición que presente la menor resistencia al paso del flujo (Arturo, j, Pérez. 2010).

Por lo tanto, cuando la velocidad de lavado es baja, el lecho no se expande y su porosidad no se modifica mayormente. Pero, a medida que se va incrementando dicha velocidad, las fuerzas debidas a la fricción van aumentando hasta llegar a superar el peso propio de las partículas, momento en el cual estas dejan de hacer contacto, se separan y quedan suspendidas libremente en el líquido (De_Vargas, L. 2004).

15.7 Hidráulica del lavado.

Según Pérez. 2010 Expansión del medio filtrante: al inyectar agua por el fondo de un lecho granular tres cosas pueden pasar:

- A. Si la velocidad ascensional de lavado es menor que la velocidad de asentamiento de las partículas del medio filtrante, el lecho no se expande y por lo tanto no hay un lavado adecuado.
- B. Si se sigue aumentando la velocidad de lavado hasta hacer que la velocidad ascensional es mayor que la velocidad de asentamiento de los granos, el lecho se expande, aumenta su porosidad y el lavado es efectuado completamente.
- C. Si la velocidad de lavado sobrepasa un cierto valor crítico, los granos del lecho son arrastrados por el agua, perdiéndose por las canaletas de recolección de agua de lavado. Además, la excesiva separación entre los granos en nada beneficia su limpieza.

Lo deseable es inyectar agua con una cierta velocidad ascensional que haga que el medio filtrante alcance una expansión óptima para que de esta manera se realice la limpieza con la menor cantidad de agua posible lo cual conduce a la máxima economía de operación. Si se tiene en cuenta que el agua para lavado de los filtros es agua previamente filtrada (Arturo, j, Pérez. 2010).

La velocidad de lavado necesaria para producir dicha expansión depende fundamentalmente de la granulometría, densidad y forma de los granos del medio filtrante y de la temperatura del agua (Arturo, j, Pérez. 2010).

15.8 Pérdida de carga en medios filtrantes expandidos

Perdida que se pierde durante el proceso, en ella se debe considerar la pérdida de carga por la grava de soporte, el falso fondo y las diferentes pérdidas locales, las cuales pueden ser computadas de igual forma en las pérdidas por filtración, teniendo en cuenta la velocidad ascensional correspondiente (De_Vargas, L. 2004).

15.9 Sistema de lavado

Según Vargas, 2004 El lavado de los filtros puede hacerse de cuatro maneras distintas:

1. Lavado con flujo ascendente solo.
2. Con flujo ascendente y lavado superficial.
3. Con flujo ascendente y aire.
4. Con flujo ascendente y lavado subsuperficial.

15.10 Aplicación del agua de lavado

Según Vargas, 2004 El agua puede provenir respectivamente de:

1. Un tanque elevado.
2. Un sistema de bombeo.
3. Otros filtros trabajando en paralelo (sistema autolavante).

16. Tasa de filtración o carga superficial para filtro de lecho único y mixto

Dentro de estos rangos, el diseño puede ser escogido teniendo en cuenta los siguientes aspectos.

1. La eficiencia remocional de bacterias de los filtros operados a velocidad de filtración alta, es la misma para filtros operados a bajas velocidades (De_Vargas, L. 2004).
2. La turbiedad residual del agua filtrada a alta tasa, no es apreciablemente mayor que la obtenida a filtración lenta (Arturo, j, Pérez. 2010).
3. A medida que se filtra en una tasa mayor, la carrera de filtración se acorta proporcionalmente, pero la cantidad de agua producida de lavado se aumenta. En otras palabras, lo que debe considerarse es el volumen total de agua que se puede obtener durante el periodo de servicio del filtro. Se puede obtener el mismo volumen con baja carga superficial y largas carreras a alta carga superficial y cortas carreras (Arturo, j, Pérez. 2010).
4. La carga superficial de filtración más alta posible produce la mínima área superficial y con ello el mínimo costo inicial (Arturo, j, Pérez. 2010).

17. Aplicabilidad de la filtración de alta tasa

Existen varias aplicaciones diferentes de la filtración de alta tasa en el tratamiento de agua potable.

En el tratamiento de agua subterránea se usa la filtración de alta tasa para remover el hierro y el magnesio. Para ayudar al proceso de filtración, frecuentemente se provee el sistema de aeración como pretratamiento con el fin de formar compuestos insolubles de hierro y manganeso (Cepis, 2005).

En filtros múltiples frecuentemente se usa carbón activado como una de las capas del lecho filtrante para eliminar problemas de olores y sabores por adsorción, como otro ejemplo también se usa resinas de intercambio catiónico con el fin de eliminar metales pesados (mercurio, cadmio, arsénico, cromo, etc.) de las aguas subterráneas por absorción atómica, esta técnica además de adherir los metales a su cuerpo sólido sirve para valorar el grado de contaminación

Se usa la antracita, las cortezas molidas de coco, la piedra pómez y otros materiales como capas de lechos filtrantes, especialmente en lechos de filtro de capa múltiples, se colocan en la parte superior de un lecho de arena.

Para agua de turbiedad baja como la que se halla frecuentemente en lagos y algunas veces en ríos, la filtración de alta tasa debe ser capaz de producir agua clara, la cual, sin embargo, puede contener aun bacterias patógenas y virus. Entonces es necesario un tratamiento final, como la desinfección por cloración, para obtener agua bacteriológicamente segura. Existen otros métodos de desinfección del agua como es el caso de la ozonización y la radiación ultravioleta (Arboleda valencia, 2000)

Para elevadas turbiedades se puede usar la filtración de alta tasa como pretratamiento para reducir la carga en los filtros lento de arena siguientes o se le puede aplicar para el tratamiento de agua que ha sido clarificada mediante coagulación, floculación y sedimentación. En tales casos se requiere nuevamente una cloración final. Esto es frecuente en la filtración por un lecho único como medio filtrante (Arboleda valencia, 2000).

18. Tipos de plantas de tratamiento de agua potable

Las plantas de tratamiento de agua se pueden clasificar, de acuerdo con el tipo de procesos que las conforman, en plantas de filtración rápida y plantas de filtración lenta (De_Vargas, L. 2004).

También se pueden clasificar, de acuerdo con la tecnología usada en el proyecto, en plantas convencionales antiguas, plantas convencionales de tecnología apropiada y plantas de tecnología importada o de patente (De_Vargas, L. 2004).

18.1 Plantas de filtración rápida

Los filtros que las integran operan con velocidades altas, entre 80 y 300 m³/m².d, de acuerdo con las características del agua, del medio filtrante y de los recursos disponibles para operar y mantener estas instalaciones (De_Vargas, L. 2004).

Como consecuencia de las altas tasas con las que operan estos filtros, se colmatan en un lapso de 40 a 50 horas en promedio. En esta situación, se aplica el retrolavado o lavado ascensional de la unidad durante un lapso de 5 a 15 minutos (dependiendo del tipo de sistema de lavado) para descolmatar el medio filtrante devolviéndole su porosidad inicial y reanudar la operación de la unidad (De_Vargas, L. 2004).

Según Vargas, 2004 De acuerdo con la calidad del agua por tratar, se presentan dos soluciones dentro de este tipo de plantas: plantas de filtración rápida completa y plantas de filtración directa.

18.2 Planta de filtración rápida completa

Normalmente está integrada por los procesos de coagulación, sedimentación, filtración y desinfección. El proceso de coagulación se realiza en dos etapas: una fuerte agitación del agua para obtener una dispersión instantánea de la sustancia coagulante en toda la masa de agua (mezcla rápida) seguida de una agitación lenta para promover la rápida aglomeración y crecimiento del floculo (etapa de floculación) (De_Vargas, L. 2004).

Según investigaciones de la agencia de protección ambiental de los estados unidos (EPA) el filtro debe producir un efluente con una turbiedad menor o igual a 0,10 UNT para garantizar que esté libre de huevos de parásitos (Giardia, Cryptosporidium, etcétera). Para lograr esta eficiencia en la filtración, es necesario que los sedimentadores produzcan agua con 2 UNT como máximo. Ya que los filtros desempeñan una labor de acabado, es decir pulen el agua como finalidad (De_Vargas, L. 2004).

Las altas tasas con las que operan estos sistemas, así como el empleo de la coagulación (proceso cuya operación requiere sumo cuidado), demandan recursos humanos capacitados, por lo que debe estudiarse con detenimiento la posibilidad de utilizarlos fuera de la zona urbana, en zonas marginales, rurales o, en general, en zonas económicamente muy deprimidas (De_Vargas, L. 2004).

19. Filtración directa

Un método de filtración por el que la corriente de la alimentación va directa a los medios de la filtración. No se utiliza ningún cruce de corrientes; por lo tanto, el flujo de alimentación y el flujo del líquido filtrado es equilibrado durante el proceso, es la solución adecuada para tratar aguas superficiales de baja turbiedad y color (De_Vargas, L. 2004).

En general, la unidad de filtración está precedida por la mezcla rápida y la prefloculación o solamente por la mezcla rápida.

Según el ras 2000 La filtración puede ser de contacto (sin floculación, ni sedimentación) o filtración directa propiamente dicha (sin sedimentación pero con coagulación-floculación total o parcial).

En este proceso debe trabajarse con una coagulación por neutralización de cargas diferente de la coagulación de barrido. El agua cruda debe tener una turbiedad y un color inferiores a 8 UNT y 30 UC respectivamente el 90% del tiempo. El 10% restante, la fuente no puede tener una turbiedad superior a 15 UNT y 50 UC de color. En caso de que por tiempos cortos (no mayores de 5 horas) se excedan estos límites, debe proveerse una solución para que haya continuidad del servicio (Ras, 2000).

20. Filtración convencional

Debe utilizarse como pulimento final de los procesos de mezcla rápida, floculación y sedimentación. Generalmente se emplea cuando se ha realizado una coagulación de barrido. La turbiedad de ingreso a los filtros no debe ser mayor de 8.0 UNT y el color no mayor de 20 UC (Ras, 2000).

20.1 Según la velocidad de filtración

Según el ras 2000 título c. La tasa de filtración debe depender de la calidad del agua, de las características de la filtración y de los recursos de operación y control. La tasa normal debe garantizar la eficiencia del proceso. Para el diseño deben adoptarse las siguientes tasas:

1. Para lechos de arena o antracita sola con T_e de 0.45 mm a 0.55 mm y una profundidad máxima de 0.75 m, la tasa debe ser inferior a $120 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{día})$.
2. Para lechos de antracita sobre arena y profundidad estándar, la tasa máxima es de $300 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{día})$, siempre y cuando la calidad del floc lo permita.
3. Para lechos de arena sola o antracita sola de tamaño grueso, con profundidad mayor de 0.9 m, la tasa de filtración máxima es de $400 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{día})$.
4. Tasas de filtración mayores a $360 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{día})$ deben determinarse en filtros pilotos, siempre que la calidad del floc lo permita.

21. Filtros rápidos

Según el Ras 2000 El filtro puede ser de un solo medio (arena o antracita), de medio dual (arena y antracita) o lechos mezclados. Puede ser de profundidad convencional de 0.6 m a 0.9 m o de capa profunda de más de 0.9 m de altura.

Las partículas deben ser duras, resistentes, de forma preferiblemente redondeada sin esquistos ni partículas extrañas, libre de lodo, arcilla o materias orgánicas.

1. Lechos de arena La arena (fina, estándar o gruesa) debe estar dentro de los límites señalados en la tabla C.7.1

TABLA C.7.1
Característica de la arena, para filtros rápidos

	Tamaño efectivo		Coeficiente de uniformidad	
	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Mínimo	Máximo
Arena Fina	0.35	0.45	1.35	1.70
Arena estándar	0.45	0.65		
Arena gruesa	0.65	0.85		

Fuente: ras-2000, título c

Según Ras 2000 La arena fina (0.35 mm - 0.45 mm) solamente se recomienda en los siguientes casos:

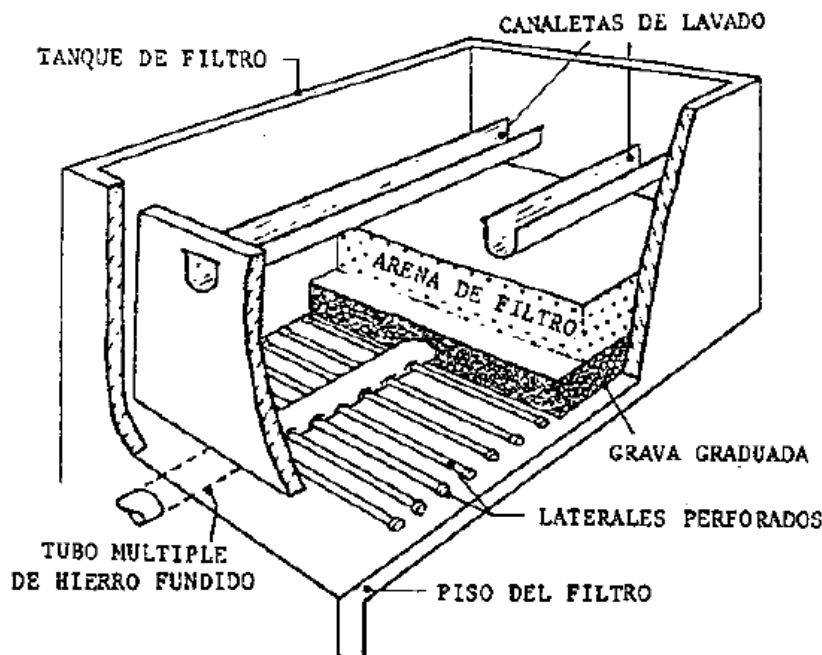
- a) Cuando el pretratamiento sea poco satisfactorio.
- b) Cuando se requiera un alto grado de remoción.
- c) Cuando se pueda operar con periodos cortos de filtración y no sea importante el ahorro de agua de lavado.
- d) Cuando el sistema de lavado esté diseñado únicamente para arena fina.

Según Ras 2000 La arena estándar (0.45 mm - 0.65 mm) se recomienda cuando las condiciones del agua se encuentren entre las que se especifique para arena fina y gruesa.

Según Ras 2000 La arena gruesa (0.65 mm - 0.85 mm) se recomienda en los siguientes casos:

- a) Cuando el pretratamiento sea satisfactorio.
- b) Cuando no se requiera un alto grado de remoción.
- c) Cuando se requieran periodos largos en los filtros y ahorro de agua de lavado.
- d) Cuando el filtro sea diseñado para altas tasas de lavado

En la Figura 12 se esquematiza un filtro rápido de flujo mixto de un solo lecho de arena como medio filtrante, el filtro representado no tiene cámara en el falso fondo, la recolección del agua filtrada se realiza por medio de unos tubos laterales perforados que después el agua filtrada es conducida a un tubo múltiple de hierro fundido para su recolección.



[Figura 12], filtro rápido de flujo mixto de un solo lecho de arena como medio filtrante. Fuente: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/020867/020867-17.pdf>

21.1 Lechos de antracita

Según el ras 2000, Para los lechos de antracita, este material debe tener un contenido bajo de cenizas y material volátil, baja friabilidad, alto contenido de carbono fijo y atraxilón (fósiles coloidales), y además libre de mica, polvo, arcilla, sulfuro de hierro, limo y materiales extraños. Las partículas deben ser piramidales con el fin de obtener una mayor área superficial por unidad de volumen, con una densidad no inferior a 1450 kg/m³ y una dureza de 3.5 en la escala de Mohs. La antracita puede reemplazar la arena parcial o totalmente como lecho filtrante.

Las características físicas y químicas de los medios filtrantes, muestreo, ensayos, embarque y colocación del material filtrante, deben cumplir la Norma Técnica Colombiana NTC 2572

21.2 Lechos mezclados de arena y antracita

Según el ras 2000, Para este tipo de lecho debe formarse una interfase de los dos materiales donde ellos se juntan, que no puede ser mayor a 0.15 m. Por tanto los tamaño de los granos de cada lecho deben ser tales que el diámetro del medio de antracita más grueso (que va encima: d₁) sea como máximo cuatro a seis veces mayor que el diámetro del medio menor de arena (d₂) que va debajo. ($d_1 = 4 \text{ a } 6 d_2$).

En la figura 13 se esquematiza un filtro rápido de alta tasa de lecho mixto como medio filtrante, posee cámara de recolección de agua filtrada, es de flujo ascendente y descendente.

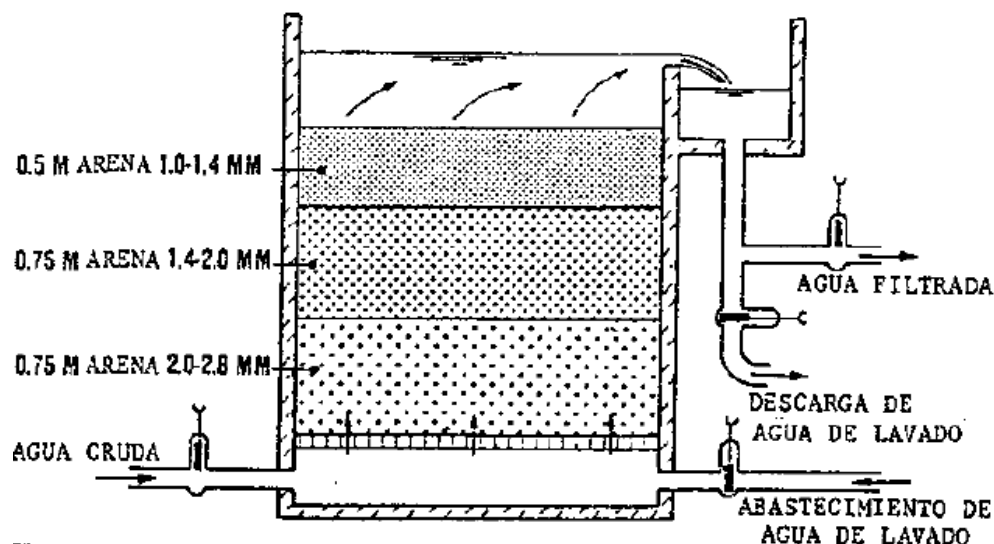


Figura 13, filtro rápido de alta tasa de lecho mixto, fuente: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/020867/020867-17.pdf>

21.3 Filtración rápida por lecho único

La filtración a través de un lecho filtrante se utiliza cuando las partículas contenidas en el agua son relativamente pequeñas. Para que sea eficaz, es preciso que las materias puedan penetrar profundamente dentro del lecho y no bloquearlo en su superficie (Arboleda valencia, 2000).

Según Cruz, 1997 La calidad de los filtros de agua potable para la eliminación de sólidos en suspensión depende fundamentalmente del diseño del drenaje del filtro y el soporte para el medio filtrante. En la actualidad existen diversas tecnologías disponibles de fondo filtrante rápido por gravedad, como el LP Block (Bloque de Bajo Perfil) cuya primera instalación en España se puso en servicio en marzo de 2007

La filtración en arena se utiliza con frecuencia y es un método muy robusto para separar los sólidos suspendidos del agua. La filtración media consiste en una capa múltiple de la arena con una variedad en tamaño y gravedad específica. Los filtros de arena se pueden proveer en diversos tamaños y ambos pueden ser manejados manualmente o de forma totalmente automática (Galvis, G. Latorre, G. 1999).

Según Camp, 1990 Una aplicación especial del filtro de arena es la separación del hierro en la superficie en el suelo o con el agua limpia. La instalación de la separación del hierro consiste en la aireación, oxidación y precipitación del hierro y el manganeso seguido por una separación de las partículas precipitadas con el filtro de arena

21.4 Filtración rápida por lecho mixto

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. Dependiendo de la calidad del agua en la fuente y de las normas vigentes para el agua potable, la tecnología de la filtración multicapa puede ir precedida de otros procesos de tratamiento, como sedimentación simple en embalses o desarenadores, cribas, etc. y siempre que sea posible, se debe incluir la desinfección terminal, como barrera de seguridad (Galvis, G. Latorre, G. 1999).

La tecnología de Filtración en Múltiples Etapas es una respuesta a la necesidad de alternativas de tratamiento de agua de fuentes superficiales, que sean menos complejas de sostener para el nivel local que filtración rápida. Es una combinación de dos tipos de pretratamiento con filtración en grava y tratamiento con filtración lenta en arena. La integración de estas etapas de filtración permite el tratamiento de aguas con niveles de contaminación más elevados que aquellos con los que puede operar la tecnología de FLA independientemente (Galvis, G. Latorre, G. 1999).

Si bien es cierto en las últimas décadas del siglo XX y XXI se han hecho avances importantes en el desarrollo de la tecnología de la filtración rápida, sin embargo aún dista por ser una solución sostenible, por sus limitaciones de infraestructura y de capacidad institucional para utilizar eficaz y continuamente alguna de sus aplicaciones al tratamiento de agua.

En efecto, la búsqueda de soluciones a las necesidades de mejoramiento de la calidad de agua en asentamientos humanos que utilizan fuentes superficiales en esta región, originó el desarrollo de la tecnología de filtración en múltiples etapas (Cepis, 2005).

Las dificultades para aprovechar adecuadamente la tecnología filtración rápido en el tratamiento de agua, originadas en la necesidad de adquirir, transportar, almacenar o dosificar coagulantes químicos, generalmente limitan su aplicación a ciudades grandes o intermedias. Estas dificultades se agudizan en los casos frecuentes de localidades pequeñas, abastecidas con fuentes superficiales que presentan cambios bruscos de calidad de agua, por la complejidad de cuantificar, ajustar y controlar oportunamente la dosificación de productos químicos (Galvis, G. Latorre, G. 1999).

La solución de estas dificultades se realizan por dos instancias, una es la disponibilidad de coagulantes y su respectiva dosificación, por ejemplo: ante altos contenidos de color o de sólidos de naturaleza coloidal, consiste en aplicar filtración rápida con el desarrollo de nuevas modalidades de clarificación y acondicionamiento de agua, con base en la utilización de filtración en gravas o filtración gruesa, en combinación con técnicas simplificadas de dosificación de coagulantes (Alisan, 1995; Cinara e IRC, 1996; Cruz, 1997).

La segunda consiste en el acondicionamiento de la calidad del agua cruda, orientadas a superar las limitaciones de la tecnología de filtración lenta en arena, para operar adecuadamente como única etapa de tratamiento, antes de la desinfección terminal (Galvis y Visscher, 1987; Galvis et al, 1989; Lloyd et al, 1991).

21.5 Consideraciones de la filtración con lecho mixto

Tabla 5.
Consideraciones de la filtración multietapa

Consideraciones	Comentario
Calidad del agua tratada	Es una excelente alternativa para mejorar la calidad física, química y microbiológica del agua. En muchas localidades, FiME es la única opción confiable de tratamiento.
Facilidades de construcción	El diseño es relativamente simple y facilita el uso de materiales y de la mano de obra del lugar. No se requiere equipo especializado.
Costos de construcción	La construcción con materiales y mano de obra local reduce los costos. Usualmente, no se requieren materiales importados.
Facilidades de operación y mantenimiento	Después de un corto período de capacitación, operadores locales, sin alto nivel de escolaridad, pueden operar y mantener el sistema
Costos de operación y mantenimiento	Los costos de operación y mantenimiento y las necesidades de energía eléctrica son menores que en otros sistemas. No requieren productos químicos para coagulación.
Confiabilidad	Riesgo de fallas mecánicas bajo o de problemas asociados con cambios en la calidad del agua cruda. Estos pueden resolverse la mayoría de las veces sin interrumpir el servicio
Limpieza	El proceso de limpieza es simple aunque laborioso y esto no debe representar un problema mayor en países donde la mano de obra es relativamente barata.
Requerimientos de área superficial	Una planta convencional de FiR, con áreas de almacenamiento y de manejo de químicos, zonas de tráfico, etc., puede requerir áreas comparables a FiME.
No es una panacea	Existen niveles de contaminación o factores ambientales que superan la eficiencia o inhiben los procesos de tratamiento ligados con FiME.

Galvis, G. Latorre, G. (1999). Consideraciones de la filtración multietapa. [Tabla 5]. Recuperado de <http://www.ircwash.org/sites/default/files/255.9-99FI-17025.pdf>.

22. Aplicaciones para la filtración en arena

- Preparación de agua fría
- Tratamiento de aguas residuales
- Producción de agua potable
- Filtración en piscinas
- Pre Filtración para sistemas de membrana
- Filtración de agua gris o de superficie

23. Nuevas tecnologías.

23.1 Filtro Aquazur V

La claridad del agua está garantizada por la filtración. Degremont patentó el Aquazur V, un filtro de arena abierto cuya capa de arena permite detener las materias en suspensión y las partículas, reproduciendo mecanismos naturales (Dregemont. 2016).

Además de un funcionamiento con altas velocidades de filtración, el filtro tiene también como ventaja el de ser sencillo, lo que hace de ello un proceso universal para todas las plantas de tratamiento de agua (Dregemont. 2016).

Colocado o no después de un decantador, contribuye a la obtención de un agua filtrada de alta calidad, indispensable para el agua destinada al consumo humano (Dregemont. 2016).

Un filtro de arena de alta velocidad y rendimiento con múltiples ventajas.

- Sistema de lavado eficiente

Sin picos de turbidez debido a la ausencia de sobrecarga en las demás unidades.

- Fácil manejo

Sin necesidad de medir el flujo del filtro.

Aquazur® V posee una corriente descendente abierta de filtro de arena. Retiene partículas suspendidas del agua cruda gracias a un espesor de capa de arena. La homogeneidad de la arena aumenta el tiempo de la carrera de filtración. Mientras que el espesor permite la filtración a altas velocidades y la altura de la cabeza de agua es de 1,20 m. Evita la desgasificación. Se puede utilizar también después de la descarbonatación, es muy adecuado para el tratamiento terciario de aguas residuales municipales con respecto a la eliminación de fósforo y materia en suspensión. Este tipo de filtración terciaria es particularmente interesante para mejorar cualquier proceso de desinfección aguas abajo (U.V, Cloración, etc.) (Dregemont. 2016).

23.1.1 Lavado del filtro

1. Se Baja el nivel del agua al vertedero de lavado (Dregemont. 2016).
2. El lavado de agua filtrado a 7-15 m / h, combinado con barrido de aire a 50-60 m / h, y el lavado cruzado con agua no filtrada a 7 m / h. Una distribución uniforme del agua y del aire se consigue mediante el diseño especial de las boquillas (Dregemont. 2016).
3. Enjuague con lavado en contracorriente con agua filtrada a 13-15 m / h, con un lavado cruzado de 7 m / h. La duración total del lavado oscila entre 10 y 12 minutos, con agua de 4 a 5 m³ / m² de área filtrante, de los cuales sólo 2 m³ / m² es agua filtrada (Dregemont. 2016).

23.1.2 Control operativo.

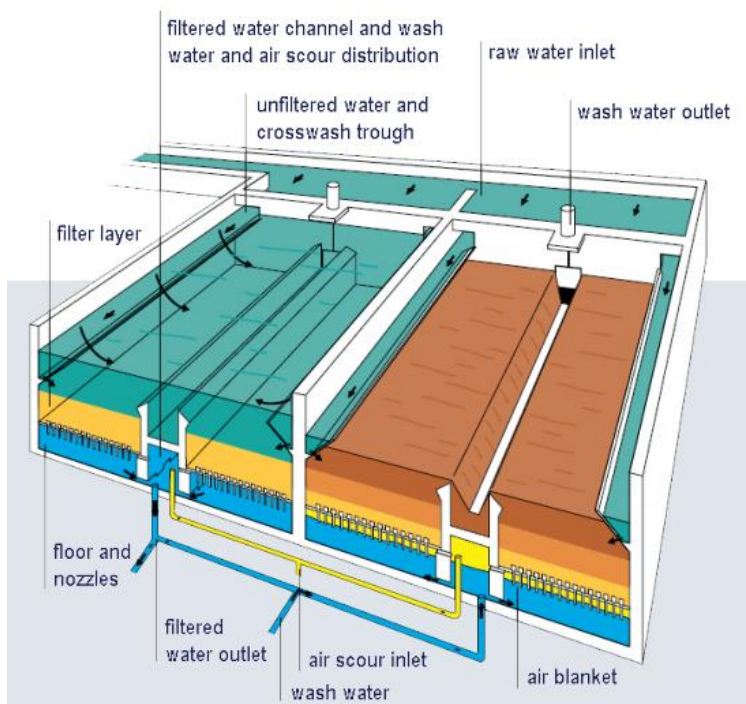
El parámetro principal de control es el grado de obstrucción de la arena, que comúnmente determina cuándo es necesario el lavado. La medición del flujo en el filtro no es necesaria, ya que los diferentes filtros suministran el mismo flujo, repartidos uniformemente por los canales de entrada. La turbiedad del agua filtrada se monitorea generalmente a la salida de la batería del filtro y no para cada filtro individual. (Dregemont. 2016).

23.1.3 Ventajas

- Un filtro abierto de alta tasa
- Original, eficiente y económico de lavado a contracorriente
- Controlador de nivel
- Control de funcionamiento a medida (Dregemont. 2016).

23.1.4 Rango / rendimiento

- Tasa de filtración entre 6 y 8 m³ / h
- Velocidad de lavado de 14 m³ / m² / h
- El caudal total de agua de lavado + flujo de lavado es entre 20 y 22 m³ / m²



Dregemont. (2016). Filtro Aquazur V. Recuperado de: Aquazur%20V_P-EP-004-EN-1512.pdf.

23.2 Comparación entre un lecho filtrante de alta tasa monocapa y un bicapa autolavable

Para el estudio comparativo en el trabajo presentado por Gallis, C. (2007). Ingeniera civil. Menciona que para el filtro de alta tasa con lecho monocapa se usa un sistema de lavado con aire y agua, representados por filtro modelo Aquazur V de Degrémont con una tasa de filtración entre 8 – 12 m/h y una profundidad del lecho de 1,5 m.

Según Gallis, 2007 Para el filtro mixto se usa un retrolavado con agua, representados por filtros de arena y carbón activado en el trabajo investigativo, con una tasa media de filtración entre 6 – 8 m/h y a una profundidad del lecho de 0,45 m de carbón, 0,25 m de arena.

Para la evaluación del desempeño de los filtros, se desarrolló una auditoría del proceso de filtración y lavado en cada tipo de filtro. Ésta incluye un perfil de turbiedad en modalidad de filtrado y lavado, perfil de pérdidas de carga durante la carrera, medición de expansión del lecho durante el lavado, y un ensayo llamado Kawamura 2000 para medir la retención de flocs en el lecho filtrante antes y después del lavado, granulometría y medición del porcentaje de bolas de lodo. Se tuvo en cuenta un análisis costo instalación-operacional de cada filtro (Gallis, C. 2007).

Se concluyó que los filtros Aquazur V de Degrémont, monocapa, presenta más ventajas ante la calidad de agua observada, siempre que los procesos de tratamiento previos de coagulación-floculación y sedimentación sean adecuados, A pesar de significar un consumo eléctrico mayor, es más rentables económicamente que el filtro bicapa porque produce más agua utilizando un área de filtración equivalente. Además, los consumos operacionales de agua tratada son inferiores (1,85% contra 4,39%) debido a la incorporación de aire en el lavado (tasa de aire: 55 m/h) según el estudio (Gallis, C. 2007).

El lavado con aire y agua es efectivo, y es factible llevar un control periódico del filtro. En cambio, los filtros bicapa con autolavado, por sus características de diseño, no permiten el control de una unidad aislada. Las tasas de lavado alcanzadas son inferiores al valor óptimo de modo que los lechos filtrantes están sujetos a colmatación en un período de tiempo muy inferior a su vida útil. Esta situación entorpece la filtración, y principalmente, pone en riesgo la calidad bacteriológica del agua tratada, por lo que se hace necesario incurrir en gastos para la rehabilitación del material filtrante cada cierto tiempo (Gallis, C. 2007).

23.3 Filtro de lecho granular de doble capa como nueva tecnología de filtración

Según Su-Rui Tian. 2016 Los lechos granulares de doble capa consisten en una capa inferior de gránulos finos y una capa superior de gránulos gruesos, Con el fin de estudiar las funciones individuales de las dos capas granulares con respecto a la filtración Se empleó un dispositivo de filtración de lecho granular pequeño.

Las dos capas granulares utilizadas se separaron usando una malla de alambre, Se usó un espectrómetro de aerosol welas® 3000 para determinar las concentraciones de partículas y las distribuciones de tamaño de las entradas y salidas de las capas superior e inferior (Su-Rui Tian. 2016).

De acuerdo con los resultados obtenidos por Su-Rui Tian, Guo-Hua Yang, Zhen Li, Kai-Yu Shi, Guo-Zhu Ding, Fu-Xiang Hu de la universidad de Ningbo, Zhejiang – china (2016), La capa superior fue capaz de eliminar 96,08-98,78% de partículas. Además, Debido a las características del lecho superior, Incluyendo la naturaleza gruesa de sus gránulos, su capacidad de filtración profunda. La caída de presión a través de la capa granular aumentó lentamente con la cantidad de partículas depositadas.

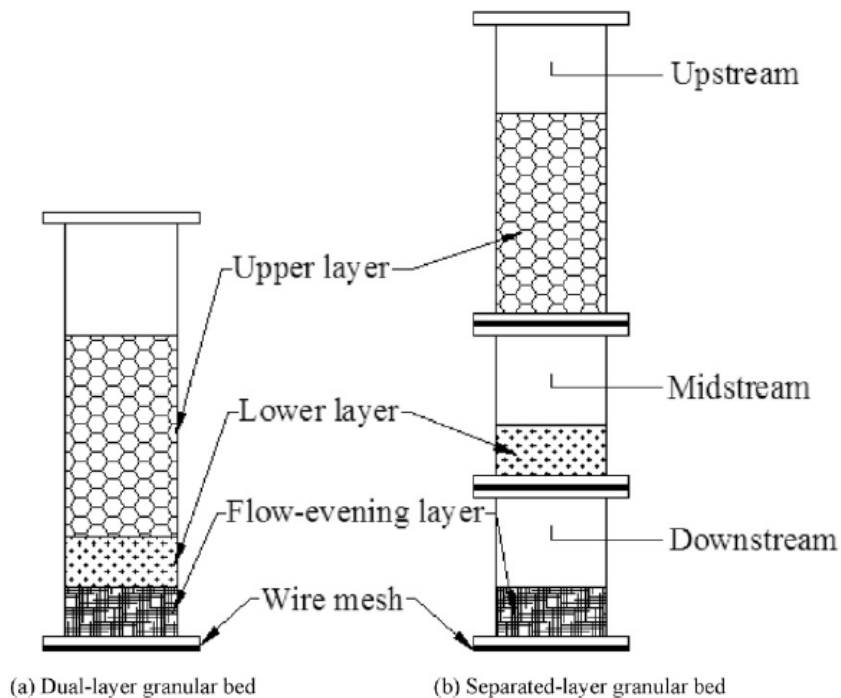
La capa inferior, Que tenía gránulos finos, Era capaz de eliminar eficazmente las partículas finas que pasaban a través de la capa superior, Reduciendo la concentración en la salida a 3-7,5 mg / m (Su-Rui Tian. 2016).

Según Guo-Hua Yang, 2016 Los resultados experimentales confirmaron que el filtro de lecho granular de doble capa exhibe propiedades sinérgicas únicas a saber de una baja caída de presión debido a la capa superior y una alta eficiencia de filtración debido a la capa inferior.

El estudio ha demostrado que la eficiencia de filtración aumenta con una disminución en el tamaño del gránulo. Sin embargo, La caída de presión en el lecho también aumenta rápidamente. Por lo tanto, es muy difícil conseguir simultáneamente una alta eficiencia de filtración y una baja caída de presión en el lecho (Su-Rui Tian. 2016).

Según Fu-Xiang Hu, 2016 Esto planteaba un gran desafío y había limitado el uso de filtros de lecho granular. Para resolver este problema, se inventó un nuevo filtro de lecho granular denominado filtro de lecho granular de doble capa.

El cuerpo del lecho granular estaba constituido por un tubo de acrílico con una capa interior de diámetro de 100 mm. Como se muestra en la imagen, el lecho granular se compuso De tres capas granulares: una capa de flujo-noche, una capa inferior, y Una capa superior (Su-Rui Tian. 2016).



Su-Rui Tian. (2016). Diagrama esquemático de la cama granular. (A) Lecho granular de doble capa. (B) Lecho granular de capa separada. Recuperado de: patent. Co-gasification of coal and biomass in a fixed bed reactor with separate and mixed bed configurations. Faculty of Maritime and Transportation, Ningbo University, Zhejiang 315211, China

Este filtro Utiliza para la remoción de turbidez hasta 20 micrones en tamaño y se clasifican según el tamaño basándose en la capacidad de flujo. Están contruidos de varias capas de medios de filtración. Tiene una cama de gravas de diferentes tamaños, la cama de filtración o de soporte está estructurada de gránulos grandes de los menos densos hasta los más densos, esta cama está en el fondo del tanque de presión y cubre el sistema distribuidor, en segunda siguen otras capas de grava hasta llegar finalmente a la arena silica, estos medios filtrantes ayudan a ir deteniendo las partículas de mayor tamaño en las capas superiores y las más pequeñas son detenidas en las siguientes capas (H2OSoluciones. 2016).

Este proceso permite un filtrado más fino y eficiente, permite flujos mayores que los filtros convencionales y alarga el periodo de operación por más de tres veces, antes de requerir efectuar un retrolavado (H2OSoluciones. 2016).

1. Larga vida – sin corrosión
2. Permite hacer los retrolavado de la manera más fácil con solo efectuar tres pasos.
3. Sin obstrucción – sin corrosión – larga vida
4. alta calidad de agua
5. Menos desperdicio de agua para retrolavar
6. Frecuentemente elimina la necesidad de una segunda filtración.

23.4 Filtro purificador de agua con sistema acumulable de compartimientos, ecológico, de larga duración y de fácil regeneración y limpieza.

Filtro de gran capacidad y de materiales de muy alta resistencia y durabilidad superior a 20 años. Puede ser limpiado y generado completamente por el usuario, de forma sencilla gracias a su sistema acumulable de compartimientos rellenos de arena o arena con grava, carbón activado de forma opcional pero recomendable. El costo económico por la obtención de agua potable generada por el filtro mencionado es muy inferior en comparación a cualquier filtro comercialmente existente (Guerrero, R. 2016).

Filtro patentado para uso doméstico con un promedio de 13 litros por día, necesarios para una familia constituida por 4 miembros, con medidas de 25 cm de diámetro, con una altura total de un sistema de compartimientos de 75 cm, y una altura total de este prototipo. Cuenta con diversas capas de arena internas, de alta velocidad de filtración (Guerrero, R. 2016).

Posee un sistema acumulable de compartimientos, los compartimientos son de larga resistencia y duración que no alteran la calidad del agua, los compartimientos pueden ser limpiados o cambiados según su caducidad, fácil y rápido para regenerar y poner en estado óptimo su funcionamiento. Posee compartimientos adicionales para materiales que eliminen sustancias o contaminantes extras o dañinos y que son tratables de acuerdo a sus contaminantes (Guerrero, R. 2016).

Según Guerrero, 2016 Los límites máximos admitidos en cuanto a los parámetros físicos químicos del agua para el filtro son:

Cloro residual libre: 0.2-1.5

Ph: 7.5 Límite máximo permitido encontrado: 6.5-8.5

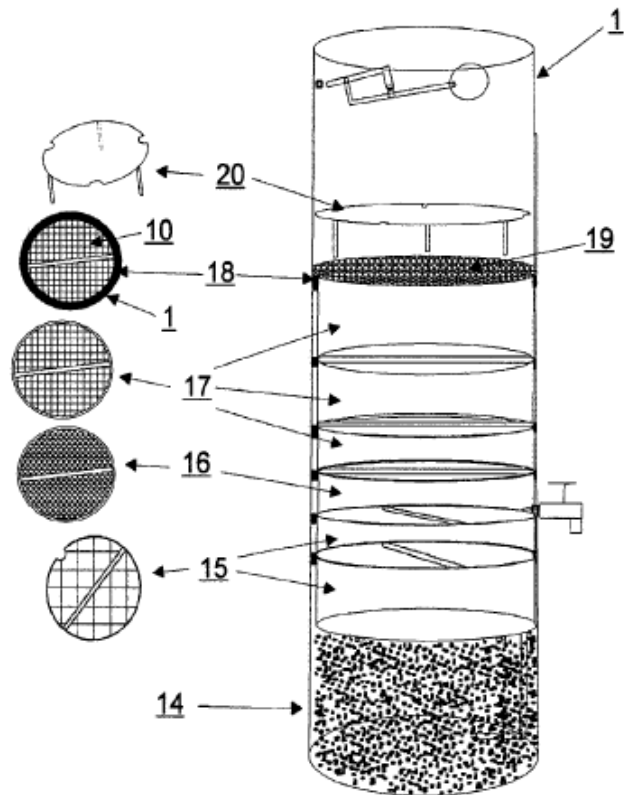
Dureza: 500 (CaCO₃)

Color: 20 PtCO

Turbiedad: 5 UTN

SST: 133 Mg/l

Coliformes totales: NMP/100ml



Guerrero, R. (2016). Compartimientos filtro purificador. Recuperado de: Patente MX 2008008811 A. Instituto mexicano de la propiedad industrial.

23.5 Filtro de KDF

Sistemas de filtro KDF ®: tecnología de filtro especial, patentada (KDF ®=Kinetic Degradation Fluxión, patenta en EE.UU.) por Marion Kuprat

KDF existe de aleaciones de cobre y de zinc muy puras y granuladas. El agua se pone de modo preparado a causa de una reacción electroquímica (basando en el principio de la Reacción Redox⁴) y es limpiada. En la química la oxidación significa la transmisión de electrones, reducción significa el comienzo de electrones. Durante esta reducción oxidativo sustancias perjudiciales y contaminación son cambiadas en sustancias inofensivas para el ser humano (Kuprat, M. 2013).

Sirven especialmente para la eliminación de materias inorgánicas. Cloro es insalubre en alto grado, aun canceroso. Cloro, es cambiado por KDF en cloruro inofensivo, hidrosoluble. Igualmente metales pesados (plomo, mercurio, hierros), que reaccionan con la aleación del exterior de filtro, se elimina del agua (Kuprat, M. 2013).

Microorganismos son destruidos: Primero: El cambio de electrones en la reacción redox crea un campo electrolítico que los máximos microorganismos no sobreviven porque junto a ellos son causados daños celulares. Segundo: El funcionamiento de un microorganismo es destruida por la formación rápida de medios de oxidación fuertes (radicales y peróxido de hidrógeno) en el reacción redox. El medio de oxidación actúa como un desinfectante (Kuprat, M. 2013).

Filtros KDF solo actúan más efectivos si son usados juntos con filtros de carbón activos.

23.5.1 Eliminación segura y efectiva:

1. Cloro
2. Chloramine, hidrógenos de azufre, sulfuro de hidrógeno
3. Bacterias, hongos, manto, algas y microorganismos, el crecimiento bacteriano en el filtro es reducido
4. Metales pesados, cadmio, aluminio, hidrógeno de azufre, hierros, arsénico, plomo, mercurio y otras relaciones inorgánicas
5. Menos problemas de cal (Kuprat, M. 2013).

23.5.2 Reduce o elimina

Cloro, hierro, sulfuro de hidrógeno, plomo, mercurio, carbonato calcio, magnesio, cromo, bacterias, algas y hongos (Kuprat, M. 2013).

El medio KDF puede remover cerca de 99% de cloro libre. Extrae el hierro del agua, solo o combinado (Kuprat, M. 2013).

El medio KDF intercambia electrones con los contaminantes, para reducirlos a componentes no dañinos. Durante las reacciones, los electrones son transferidos entre las moléculas y se crean nuevos elementos (Kuprat, M. 2013).

23.5.3 Extracción del cloro

Puede remover cerca de 99% de cloro libre mediante la reducción electroquímica de gas cloro disuelto en el agua a su forma soluble de iones cloruro (Kuprat, M. 2013).

23.5.4 Extracción de hierro

Extrae el hierro del agua, solo o combinado con otros tratamientos tecnológicos en el punto de entrada. Actúa como catalizador que intercambia cationes solubles ferrosos a sustancias insolubles de hidróxido férrico, que se puede extraer fácilmente durante el retrolavado (Kuprat, M. 2013).

Según Kuprat, 2013 El medio KDF elimina más del 90% del hierro de las aguas subterráneas.

23.5.5 Extracción de hidróxido de sulfuro

Elimina H₂S mediante la conversión del sulfuro de hidrogeno gas a la forma insoluble sulfuro que es inerte y precipita. Cuando el agua contaminada con sulfuro de hidrogeno entra en el filtro KDF, el cobre en el medio KDF pierde un electrón y el sulfuro gana un electrón y se forman sulfuro de cobre y agua (Kuprat, M. 2013).

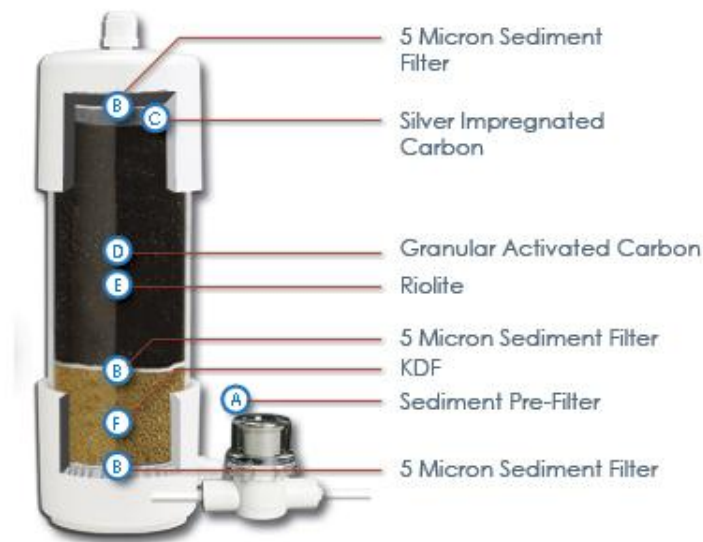
23.5.6 Extracción de metales pesados

Según Kuprat, 2013 Puede extraer hasta el 98% de cationes solubles en el agua (iones cargados positivamente) de plomo, mercurio, cobre, níquel, cromo y otros metales disueltos.

Cuando son filtrados a través del medio KDF, cationes de plomo soluble se reducen a átomos de plomo insolubles, que son galvanizados en la superficie del medio filtrante. Otros metales pesados unidos al medio filtrante pueden ser recuperados cuando el medio saturado pasa por un fundidor de cobre (Kuprat, M. 2013).

23.5.7 Control bacteriano

El medio KDF media controla el crecimiento de bacterias, algas y hongos en medios de base orgánica; mata bacterias directamente mediante contacto electroquímico y por la formación de radicales hidroxilos y peróxido de hidrogeno, ambos de los cuales interfiere con la capacidad de funcionar de los microorganismos (Kuprat, M. 2013).



Kuprat, M. (2013). Filtro purificador de KDF. Recuperado de: <https://www.easyagua.com/espa%C3%B1ol/tecnologia-del-filtro/>. Patente: EEUU.

Según H2OSoluciones. 2016 Este filtro realiza su función de cuatro formas:

1. Oxida el hierro y el ácido sulfhídrico disueltos y luego éstos se precipitan. Para este tipo de filtro no se usan regenerantes.
2. Retiene por adhesión a su estructura a los metales pesados.
3. Este filtro tiene capacidad de filtración mecánica de los precipitados (suspendidos) de hasta 15 micrómetros. Aunque no es precisamente para este uso.
4. Controla microorganismos de 2 formas; la primera, mediante el proceso de oxidación reducción, en donde se crea un campo electrofórico adverso a los microorganismos; y la segunda, formando radicales hidroxilos y peróxidos que intervienen en el funcionamiento vital de éstos (H2OSoluciones. 2016).

24. Recomendaciones.

Debido a la gran cantidad de metodologías y a la gran necesidad de corregir problemas de tratabilidad del agua, para el uso de la filtración de alta tasa por lechos únicos o mixtos como un sistema de seguridad para eliminar sedimentos o material particulado coloidal, el cual fue arrastrado o traspasado en los sistemas como pretratamiento de filtración ; se recomienda evaluar un sistema a escala piloto teniendo en cuenta nuevas tecnologías de filtración y el uso de nuevos materiales utilizados en lechos filtrantes, se debería evaluar en el estudio la eficiencia de remoción y la calidad del agua tratada de acuerdo a las características aportadas por la misma sin filtrar.

Cuando es deficiente la calidad del filtrado, se recomienda utilizar baja tasa de filtración. Pero el empleo de tasas de filtración no asegura necesariamente la producción de agua filtrada de mejor calidad ya que se hace responsable el tratamiento realizado con anterioridad al agua

25. Conclusiones.

- Las características de calidad del afluente es un factor determinante a la hora de tomar el camino más viable y el tipo de filtro como sistema de tratamiento, ya que en función de las características del agua a tratar es conveniente el diseño de filtros multicapa, consistentes en dos o más capas de materiales filtrantes de características diferentes, si los diámetros de partículas son un poco más grande o fácil de atrapar es apropiado el diseño de filtros monocapa, propio de un solo material filtrante.
- En el filtrado se debe mantener y garantizar la capa biológica sobre el lecho filtrante ya que permite el desarrollo del proceso de degradación química y biológica para eliminar naturalmente contaminantes del agua.
- La filtración del agua, mejora la calidad física, química y bacteriológica del agua sin uso de químicos, además es una operación sencilla, económica y eficaz.
- Los filtros constituyen una barrera sanitaria a los microorganismos, al tener una eficiencia de remoción superior a 99%.
- Los filtros son diferentes en muchos aspectos, como en las características del lecho filtrante, tasa de filtración, tipo de lavado y costos de operación. De manera que una comparación entre ellos es poco viable si no se toman en cuenta aspectos de funcionamiento y mantenimiento para así elegir un criterio definido de análisis.

26. Referencias bibliográficas.

- Camp, T. R. Theory of water filtration. Journal of the Sanitary Engineering Division, 90(SA4), agosto, 1964, pp. 1-30.
- CINARA, IRC. (1996). Proyecto Integrado de Investigación y Demostración de Métodos de Pretratamiento para Sistemas de Abastecimiento de Agua. Fase II. Cali, Colombia.
- CRUZ, C. (1997). Process Analysis and Optimization of Upflow Multilayer Gravel Bed Flocculation. Protocolo de Doctorado. Cinara, THE. The Netherlands.
- Hazen, A. The filtration of public water supplies. Nueva York, John Wiley & Sons, 1903.
- GALVIS, G., VISSCHER, J.T. (1989). Proyecto integrado de Investigación y Demostración en Filtración Lenta en Arena. Informe Final. Versión Resumida. CINARA, Colombia/IRC, The Hague. Cali, Colombia.
- GALVIS, G. Y VISSCHER, J.T. (1987). Participación y Perspectivas de la Universidad del Valle en el Desarrollo del Proyecto de Filtración Lenta en Arena (FLA). Proceedings of the International Seminar on Simple Water Treatment Technology. ACODAL. Cali, Colombia.
- Guerrero, R. 2016. Patente MX 2008008811 A. Instituto mexicano de la propiedad industrial.
- LLOYD, B., HELMER, R. (1991). Vigilancia y control de la calidad de agua para consumo humano en la zona rural. Publicado para la WHO y UNEP por Logman Scientific and Technical.
- Mackerle, V. y Mackerle, S. Adhesion in filters. Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE, 87(SA5), September, 1961, pp. 17-32.
- Ras-2000 TÍTULO. C. sistemas de potabilización. Filtración rápida.

1. Arboleda, J. (1992) Teoría de la filtración del agua. Teoría y práctica de la purificación del agua. Colombia. Colciencias.
2. Arturo, J., Pérez. (2010). Tratamiento de aguas. Capítulo 4. Universidad Nacional – Facultad de Minas.
3. Cánepa de Vargas, L., Pérez Carrión, J. (1992). Manual I, II y III. Teoría y evaluación. Diseño. Operación, mantenimiento y control. Lima, OPS/CEPIS.
4. De_Vargas, L. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano Plantas de filtración rápida Manual I: Teoría Tomo I. OPS/CEPIS/PUB/04.109. Retrieved from <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV002.pdf>
5. Dregemont. (2016). Aquazur, la filtración con arena. (<http://www.degremont.com.br/ES/Tecnologia/Pages/tecno-aquazur.aspx>). Suez environnement. Sao Paulo. Brasil.
6. Galvis, G., Latorre, G. (1999). Filtración en múltiples etapas. Tecnología innovativa para el tratamiento de agua. (<http://www.ircwash.org/sites/default/files/255.9-99FI-17025.pdf>). Colombia. Universidad del Valle. Colciencias.
7. Gallis, C. (2007). Estudio comparativo entre un lecho filtrante de alta tasa, monocapa, lavado con aire-agua y un lecho convencional, bicapa, autolavado con agua. (http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2007/gallis_c/sources/gallis_c.pdf). Santiago de Chile. Universidad de Chile.
8. H2OSoluciones. (2016). División de purificación y filtración. (<http://www.h2osoluciones.com/sistemas-de-purificacion-y-filtracion.html>). México.
9. Kuprat, M. (2013). Filtro purificador de KDF. Recuperado de: <https://www.easyagua.com/espa%C3%B1ol/tecnologia-del-filtro/>. Patente: EEUU.
10. Ramirez, F. (2016). El agua potable. Lombardia, Bergamo. México. (http://www.elaguapotable.com/tratamiento_del_agua.htm).
11. Soluciones Paragua. (2016). Filtro de carbón activado. (<http://www.solucionesparagua.com.mx/Productos/FCarbonActivado.php>). Macrotecnología en procesos, S.A. de C.V. México, Guadalajara.
12. Su-Rui Tian. (2016). patent. Co-gasification of coal and biomass in a fixed bed reactor with separate and mixed bed configurations. Faculty of Maritime and Transportation, Ningbo University, Zhejiang 315211, China

13. Tipo S™. (1999). La Tecnología que Marca el Paso de Leopold Company. Parte de un sistema de filtración de agua, potable o residual. Recuperado de (<http://www.xylemwatersolutions.com/scs/mexico/es-mx/Marcas/leopold/Documents/Falso%20fondo.pdf>). México.
14. Willy.F, Escobar.C, (2005) descripción hidráulica de la batería de filtros de planta No 1 de la Atarjea. Universidad nacional mayor de san marcos. (http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/ingenie/cristobal_ef/cristobal_ef.pdf).Lima-Perú)