



UNIVERSIDAD NACIONAL
AV. 17 de Agosto

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-199

28

155.A

Señor RAMON PRIETO SANCHEZ,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Miguel López Rivera, para que lo desarrolle como TRABAJO ESCRITO en opción de tesis para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO CIVIL.

"FILTRACION DE AGUAS RESIDUALES"

Introducción.

1. Descripción del proceso de filtración.
 2. Aplicaciones.
 3. Tipos de filtros.
 4. Variables del proceso.
 5. Sistemas de control.
 6. Sistemas de limpieza.
- Conclusiones.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesionales, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares del Trabajo Escrito en opción de tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, 7 de octubre de 1983
EL DIRECTOR

DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ

OARCH/RCCH/ser



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N T R O D U C C I Ó N

La escasez cada vez más crítica del agua potable en el mundo, ha provocado que sea necesario un estudio más profundo de los sistemas - de purificación del agua para contribuir a resolver el problema.

Uno de los procesos más importantes para lograr dicho fin, es LA FILTRACION ya que a la fecha es insustituible, por ser uno de los tratamientos más económicos; motivo por el cual es el más usado en nuestro país.

La finalidad de este trabajo, es profundizar en los estudios referentes a la purificación del agua mediante el proceso de FILTRACION, ya que la información que existe sobre el tema lo amerita sobre todo en nuestro país, donde se deberá desarrollar una técnica nacional que disminuya aún más los costos y evitar la utilización de patentes ex--tranjeras.

Otro aspecto importante para el desarrollo de las técnicas de la FILTRACION y en general de la purificación del agua, es que no existen en México datos suficientes para el diseño más adecuado de acuerdo a las características que presenta el agua en cada lugar y sus variaciones durante las estaciones del año. Para lo anterior, es necesario implementar un sistema de análisis cualitativo durante un período adecuado que dependerá de la calidad del agua.

En este trabajo se expone primeramente una breve reseña histórica y posteriormente, se explica el aspecto técnico del sistema.

I N D I C E

	Pág.
• INTRODUCCION	... 1
• GENERALIDADES	... 2
• TIPOS DE FILTRACION	... 5
FILTRACION LENTA	
FILTRACION RAPIDA	
• DESCRIPCION DEL PROCESO DE FILTRACION	... 13
TECNICA DEL PROCESO	
TECNICA DE LA FILTRACION	
MECANISMOS DE FILTRACION	
• VARIABLES DEL PROCESO DE FILTRACION	... 20
GRANULOMETRIA	
PERDIDAS DE CARGA	
• CARACTERISTICAS DE LAS UNIDADES DE FILTRACION	... 32
• SISTEMAS DE CONTROL DE LOS FILTROS	... 41
• SISTEMAS DE OPERACION DE UNA PLANTA DE FILTRACION	... 48
• SISTEMAS DE LAVADO DE LOS FILTROS	... 54
• SISTEMAS DE DRENAJE DE LOS FILTROS	... 67
• CONCLUSIONES	... 73
• BIBLIOGRAFIA	... 74

GENERALIDADES

El agua tal como la encontramos en la naturaleza, no es utilizable directamente (salvo en algunos casos) para el consumo humano ni para la industria, ya que no es suficientemente pura por lo que requiere una serie de tratamientos previos para su consumo, siendo uno de éstos la FILTRACION.

Los tratamientos a los cuales me refiero, tienen como finalidad producir en el agua cambios físicos, químicos y biológicos necesarios para acondicionarla.

Los organismos contribuyen en gran parte a realizar grandes cambios en las aguas, como el color y olor, y hacerlas peligrosas en algunos casos para la salud, debido a la presencia de organismos patógenos. Por lo contrario, las bacterias y algas contribuyen en gran parte para la purificación de las mismas.

En las plantas de tratamiento se recibe agua cruda siempre cambiante, la cual se acondiciona de tal manera que su calidad esté de acuerdo con los límites marcados por las Normas de Salud Pública dictadas por el Departamento a su cargo.

Para conseguir los resultados deseados, desde la obtención de un líquido claro y limpio, será necesario aplicar, independientemente o en forma combinada, los diversos procesos de purificación, siendo uno de ellos el fin del presente trabajo, la FILTRACION.

Desde la antigüedad el hombre ha considerado el agua cristalina como agua pura y ha tratado por esto de remover la turbiedad que suele contener. Los filtros inicialmente tuvieron carácter doméstico, como los filtros a base de piedras porosas colocadas sobre tinajeros. El control definitivo de la calidad del agua, como propósito es de origen bastante reciente. Se inicia con el crecimiento de las grandes industrias y poblados surgidos de la Revolución Industrial acaeci

da en el siglo XIX. Los servicios comunales de las proliferantes ciudades industriales fueron sobrecargadas con rapidez. No pudieron satisfacerse las necesidades de una distribución abundante de agua potable.

Se captó agua de ríos poluidos o de pozos de escasa profundidad en secciones populosas de la comunidad y se distribuyó a los patios - mediante depósitos regulares en días alternos.

En Francia se difundieron mucho los filtros de esponjas, paños, lanas y otros materiales durante los siglos XVIII y XIX. Cuando se hicieron los primeros filtros domésticos, el agua no se distribuía por tubería, sino que se vendía por galones al consumidor.

Así surgieron las primeras compañías de acueductos, que fueron de carácter privado. A partir de 1856, en Francia aparecieron los filtros a presión. Los primeros, llamados "FONEVIELLE" fueron construidos mediante un cono truncado de hierro fundido con tapa semiesférica, en el cual había 0.70 mts. de lecho filtrante compuesto por 0.25 mts. de esponjas marinas, 0.25 mts. de piedra caliza y 0.20 mts. de arena de río. Se lavaban extrayendo el material filtrante.

Los segundos llamados "SOUCHON" fueron construidos mediante tres lechos de paño de 0.20 mts. de espesor. El objeto de estos filtros era colar los sedimentos del agua.

Fue en Inglaterra (Paisley, Escocia) en 1804 donde por primera vez se pensó en hacer una instalación de filtros para toda una población. Más tarde en 1829 en Londres (Chelsea), se construyó la primera planta de filtros lentos de arena hechos por "The Chelsea Water Work Co."

Entre los ingenieros James Simpson, en 1829 que construyó filtros de considerable tamaño con el objeto de mejorar el suministro del río Támesis y Sir Robert Rawlinson, Inspector Superintendente del

Consejo General de Salubridad en 1848, se encauzaron los estudios para las obras sanitarias en la ciudad de la Gran Bretaña.

James P. Kinkwood, en 1871, construyó los primeros filtros de magnitud apreciable en New York.

En 1880, B. Salbach, ingeniero alemán de Dresde, construyó un sistema de sedimentadores con coagulación a base de alambre, como pretratamiento para un sistema de filtros.

El mayor conocimiento en el proceso de filtrado, llevó al diseño de los filtros rápidos, que aparecieron en Norteamérica a fines del siglo pasado, bajo patente, se les llamó filtros "Mecánicos" o "Americanos" en contraposición de los filtros ingleses que eran los lentos.

Inicialmente se creía que la filtración era un proceso de cernido, en el que las partículas quedan retenidas en el medio poroso, porque el tamaño de los poros es menor que el de los sólidos en suspensión. Tal concepto es sólo parcialmente cierto, pues el tamaño de las partículas en suspensión que suele contener el agua, puede ser hasta 100 veces menor que el de los poros del filtro y no obstante quedan retenidas. Igualmente las bacterias cuyo tamaño es inferior a 10μ , en buena parte son reducidas en el proceso.

La fuente de agua, determina comúnmente, la naturaleza de las obras de colección, purificación, conducción y distribución. Los directores de obras hidráulicas deben de conocer profundamente el área de captación de su abastecimiento, así como si existen corrientes y lagos o fuentes subterráneas de suministro. Las cuencas deberán de visitarse en todas las estaciones del año y bajo todas las condiciones del clima, durante sequías y avenidas; ya que sólo así pueden descubrirse los peligros y tratamientos adecuados que se le darán al tipo de agua analizada.

TÍTULO

TIPOS DE FILTRACIÓN

Se utiliza la filtración sobre un lecho filtrante, cuando la cantidad de materias que deben retenerse es grande y la dimensión de las partículas contenidas en el agua es relativamente pequeña.

Puede efectuarse esta filtración sin un acondicionamiento previo del agua; es el caso de la filtración lenta o rápida, de un agua de - la que sólo se desea reducir su contenido de materias en suspensión, sin actuar muchas veces sobre su color o su contenido en materias orgánicas.

Cuando se pretende obtener la clarificación óptima de un agua, - por filtración rápida, es necesario acondicionarla como lo veremos - más adelante.

Para asegurar una buena filtración, un filtro debe reunir numero sas condiciones. No existe un filtro universal, sino filtros adaptados a cada problema en particular.

Veremos la filtración lenta y la filtración rápida, ya que son - las más usadas en nuestro medio por su eficiencia y costo relativamen te bajo.

FILTRACION LENTA

Tiene por objeto la depuración de las aguas superficiales, generalmente sin coagulación ni decantación previa. Las enzimas segregadas por algas y microorganismos que se fijan sobre la arena, coagulan las materias coloidales.

Aunque los filtros rápidos han ido desplazando a los lentos, varios lugares aún mantienen éstos en operación, en donde la calidad -

del agua cruda, así como la economía de la construcción y operación favorecen su uso. Su valor bajo tales condiciones no deberá negarse, aun cuando aparentemente carecen de la tecnología de sus sucesores. - Haciendo a un lado su modesta carga hidráulica, las características - distintivas de los filtros lentos de arena, son sus mezclas de arena invariables en todas las profundidades del lecho, el pequeño tamaño - efectivo y el amplio coeficiente de no-uniformidad de sus granos, y - la remoción selectiva asociada y la acumulación de impurezas en la su - perficie del lecho y dentro de su profundidad, a una distancia de una o dos pulgadas. A causa de esto, los filtros lentos se pueden mante - ner en servicio durante largas etapas de tiempo. Por lo general, la superficie del lecho parcialmente seco se raspa después de aproximada - mente dos semanas, y de nuevo una semana más tarde, para desprender - las acumulaciones superficiales. Al cabo de un mes, la capa superfi - cial de una o dos pulgadas y las acumulaciones se raspan y se trans - portan hacia afuera del filtro para su lavado. Sólo después de que - los filtros rápidos de arena estuvieron en uso durante varios años, - se desarrollaron los dispositivos para limpieza hidráulica de los fil - tros lentos de arena.

Para obtener buenos resultados, se necesitan generalmente tres - etapas de filtración:

a) Filtros de desbaste que trabajan a un caudal de 20 a 30 m³/24 h x m² de filtro.

b) Prefiltros que trabajan a un caudal de 10 a 20 m³/24 h x m² de filtro.

c) Filtros que trabajan a un caudal de 3 a 7 m³/24 h por m² de filtro.

Debido a la baja velocidad de filtración, la pérdida de carga, - en cada etapa, es bastante pequeña.

Después del lavado, la calidad del agua filtrada no es satisfac - toria, por lo que debe verterse al desagüe, hasta que se forme la mem -

brana biológica, para lo cual se precisan varios días.

La filtración lenta da buenos resultados de clarificación, en tanto que el agua se mantenga poco cargada de materia en suspensión y se respete una pequeña velocidad final de filtración, pero si el agua llega cargada, los filtros de desbaste y los prefiltros no son suficientemente eficaces y la turbiedad del agua tratada puede elevarse - muy por encima del límite fijado por las normas, a menos que se reduzca la velocidad de filtración.

Por otra parte, estos filtros son especialmente sensibles a un desarrollo fuente de plancton, que puede producir un atascamiento superficial.

Una agua superficial muy cargada de materias orgánicas y de contaminantes químicos, puede tener aún mal sabor después de filtrada a través de filtros lentos.

Algunos consideran la filtración lenta como un proceso de afinado. Sin embargo, su acción biológica no elimina todos los microcontaminantes (fenoles, detergentes, pastidas, etc.); pues de éstos es solamente eliminado el 50% o menos. La filtración lenta, por lo tanto, es un procedimiento de afinado limitado.

Los filtros de arena lentos son poco empleados en la actualidad. Sólo en instalaciones pequeñas suelen ocasionalmente usarse todavía.

El nombre de filtros lentos se debe a que en lugar de una velocidad de filtración de $117.50 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ es de apenas 7 a $14 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$. Por tanto, el área ocupada es grande, lo que resulta bastante inconveniente y costoso de construir.

El filtro lento consta de una caja de concreto con un lecho de arena no estratificado de unos 90 a 110 cms. de profundidad. El lecho va colocado sobre unos 15 ó 30 cms. de grava, que sirve para impe-

dir que pase el material fino a los drenes.

Estos suelen hacerse con simple tubería de arcilla vitrificada - perforada.

El lavado se hace raspando la superficie del lecho filtrante cada 30 ó 60 días por capas de 5 a 10 cms., cuando la pérdida de carga se aproxima a 1.20 mts.

La arena obtenida del raspado se limpia aparte y se guarda para cuando la profundidad del lecho llegue a 60 cms., momento en el cual se suspende la operación y se vuelve a colocar toda la arena sacada - hasta completar la profundidad original del lecho.

Es evidente que los filtros lentos resultan más sencillos de manejar que los rápidos. Su misma construcción es más simple ya que -- pueden estar completamente enterrados, sin galería adicional, sin mesa de operación y con sólo dos válvulas, una influente para admitir - el agua y otra efluente para abrir o cerrar el flujo en los drenes.

El filtro lento en sí, da una purificación mucho más completa - que el filtro rápido desde el punto de vista bacteriológico. Es de - esperar una reducción de 98 a 99% de la cuenta bacterial. Aún así, - el efluente por mayor seguridad debe desinfectarse. En muchos casos, resulta muy efectivo para la remoción del mal sabor y olor en el agua.

FILTRACION RAPIDA

Gracias a los esfuerzos y estudios de coagulación y filtración - que llevó a cabo George W. Fuller en Louisville, en 1895, junto con ingenieros, químicos y biólogos; dio como resultado la primera planta - municipal de tamaño considerable a base de filtración rápida en Little Falls, N.J., en 1909. Debido a que estos filtros de arena operan a una velocidad superior a la de los filtros lentos, se deben lim

piar con una frecuencia igualmente superior.

Las características distintivas de los filtros rápidos de arena son: su tamaño relativamente pequeño y las formas en que se deben limpiar, debido a que acumulan impurezas en casi todos los niveles; el sistema de drenaje actúa entonces como sistema de distribución del agua de lavado, duplicando su función. La arena se limpia por sí misma cuando el lecho se ha fluidificado por el agua ascendente.

El propósito de estos filtros granulares es:

1.- Llevar a cabo una purificación uniformemente progresiva, que no se afecte cuando el agua entrante se pone en contacto con los granos finos, antes de hacerlo con los granos gruesos o porciones obstruidas del lecho antes de ponerse en contacto con las porciones abiertas.

2.- Limpiar los lechos filtrantes con lavadores mecánicos.

Procesos de filtración rápida

Se pueden citar esencialmente:

- a) La filtración directa, cuando no se adicionan reactivos al agua a filtrar.
- b) La filtración con coagulación sobre filtro, de una agua no decantada previamente.
- c) La filtración de agua coagulada y decantada.

a) Filtración directa:

En este tipo de filtración es donde se encuentra el campo más amplio de velocidades de filtración, según el problema que se plantee. Se extiende generalmente, desde 4 a 25 m/h, con puntas que sobrepasan,

en algunos casos, los 50 m/h.

La elección de una filtración directa y de sus características, se debe de hacer conociendo la evolución del agua a filtrar a lo largo del tiempo, esto es: el contenido máximo de materias en suspensión (durante un año, la variación puede ser del 50 al 95%), y la presencia eventual y accidental de materias capaces de atascar el filtro al nivel de las primeras capas.

b) Filtración con coagulación sobre filtro:

Los materiales filtrantes granulados no retienen las materias coloidales; para obtener agua perfectamente limpia, es necesario proceder a una coagulación antes de la filtración.

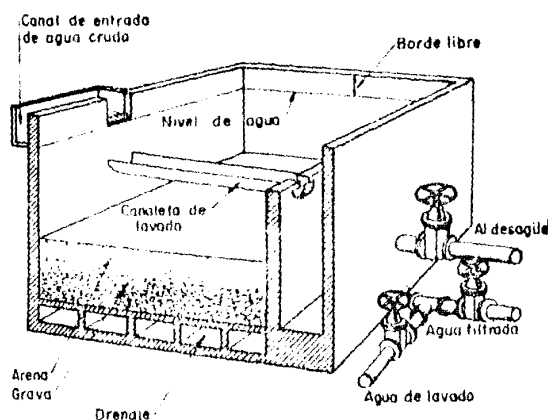
En la mayor parte de los casos, no debe utilizarse la dosis de coagulante correspondiente a la neutralización total de la carga electronegativa de las partículas del agua, ya que el volumen de fangos que se produce puede ser muy fuerte y dar lugar a un atascamiento rápido de los filtros.

Cuando el color y el contenido en materias de suspensión y en materias orgánicas son poco elevados, puede añadirse una dosis pequeña de coagulante (en general 2 a 10 g/m³, con un máximo de 15 g/m³, de sulfato de alúmina, por ejemplo), con adiciones eventuales de un producto neutralizante para corrección del PH y de un ayudante de coagulación.

Ordinariamente en plantas de purificación el tipo de filtros más usados y quizá el más recomendable, es el filtro rápido de arena por gravedad.

Este consta de un tanque rectangular de concreto de 3 a 4 mts. de profundidad total, en el cual va colocado un lecho de arena y grava, sobre un sistema de drenaje adecuado. Para operar el filtro, se vierte agua en el tanque, se deja pasar a través del lecho filtrante

y se recoge en los drenajes de donde, por tuberías va al tanque de almacenamiento y distribución. Como al cabo de cierto número de horas de servicio, el filtro se obstruye, es necesario reversar el flujo, - esto es introducir agua a presión por los drenes y recogerla en las - canaletas de lavado en la parte de arriba para que la arena se expanda y el material que se haya acumulado entre los granos salga. Terminada esta labor que sólo dura unos cuantos minutos, se le pone otra vez agua al filtro por encima y se deja trabajar como al principio.



Las características más importantes de un filtro rápido, son las siguientes:

- 1.- Lecho filtrante
- 2.- Velocidad de filtración
- 3.- Lavado
- 4.- Sistema de drenaje
- 5.- Número de unidades y forma
- 6.- Galerías del filtro y piso de operación.

En la siguiente tabla, presentamos un resumen de las principales características de los filtros de arena rápidos y los filtros de arena lentos:

Características	FILTRO LENTO			FILTRO RAPIDO				
Rata de filtración	m ³ /m ² /dfa Lt/seg/m ²	7.00 0.081	9.33 0.108	14.00 0.162	m ³ /m ² /dfa Lt/seg/m ²	87.50 1.01	117.50 1.36	157.00 2.03
Velocidad de filtración	cm/seg	0.0081	0.0108	0.0162	cm/seg	0.101	0.136	0.203
Profundidad del lecho filtrante	30' cm de grava 90-110 cms de arena			30 - 40 cms de grava 60 - 75 cms de arena				
Drenaje	Tubería de grec o cemento perforado			Tuberías metálicas perforadas o placas porosas, falsos fondos, - etc.				
Lavado	Raspando la superficie de arena hasta reducirla a 60			Invirtiendo el flujo a presión. Requiere galería. Ratas de lavado 0.60-1.00 mts/min 0.6-1.0 m ³ /min/m ²				
Pérdida de carga	De 16 hasta 1.20 mts. máximo			De 0.30 hasta 2.70 mts. máximo				
Tiempo entre limpieza	20-30-60 días			24-48-72 horas				
Penetración del floc	Superficial			Profunda				
Cantidad de agua usada en el lavado	0.2 a 0.6% del agua filtrada			1 a 6% del agua filtrada				
Tratamiento previo del agua	Ninguno o aereación			Floculación y sedimentación				
Costo de construcción	Más alto			Más bajo				
Costo de operación	Más bajo			Más alto				
Area ocupada por los filtros	Más grande, aproximadamente 30 veces que la requerida para filtros rápidos			Mucho más pequeña				

TÍTULO

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FILTRACIÓN

TÉCNICA DEL PROCESO

El objetivo de la filtración, es remover las partículas y microorganismos que no han quedado retenidos en los procesos de coagulación y sedimentación. La coagulación consiste en agregar al agua productos químicos como sulfato de aluminio o de cloruro férrico formadores de flóculos, con el propósito de que se combinen los sólidos sedimentables con los que no lo son o que se sedimentan muy lentamente, para formar agregados o flóculos que sedimentan rápidamente. La sedimentación es el asentamiento gravitacional de las partículas en suspensión más pesadas que el agua. Por lo tanto, el trabajo que los filtros desempeñan, depende de la eficiencia (en muchos casos) de los procesos preparatorios, como los antes mencionados.

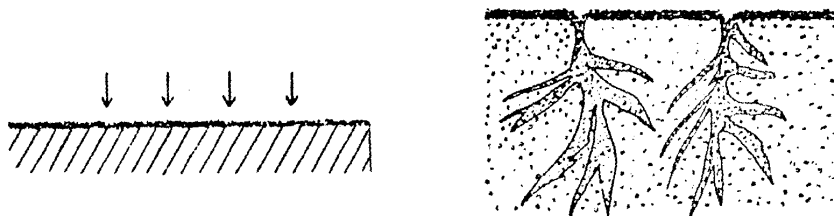
En las primeras instalaciones de filtración que se construyeron, se utilizó una masa de arena como material filtrante, adaptándose este proceso en analogía con lo que sucede en la naturaleza, cuando las aguas de infiltración se depuran al pasar a través del suelo.

Se comprobó enseguida que la arena constituía el soporte más apropiado para la filtración del agua.

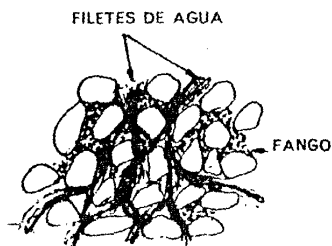
Las materias en suspensión en el agua, tanto las que se encuentran presentes como las que se originan en un tratamiento previo de coagulación, son casi siempre de naturaleza gelatinosa y conglomerante.

Si se quiere eliminar estas materias por filtración sobre un soporte de poca porosidad, el filtro se atascará rápidamente y no permitirá el paso del agua debido a la formación, en la superficie, de una capa impermeable, resultado de la acumulación de las impurezas.

Por lo contrario, cuando se efectúa la filtración a través de -- una masa de arena, las impurezas penetran más o menos profundamente -- en esta masa.



Al principio cuando el filtro está limpio, estas impurezas que-- dan retenidas por las primeras capas que se encuentran en contacto -- con el agua, pero a partir del momento en que estas capas empiezan a -- atascarse, la pérdida de carga que se produce da lugar a la introducción de las impurezas a través de pequeños canales constituidos por -- el espacio que se forma entre los granos de arena y los depósitos que -- dejan entre sí los mismos granos.



Durante el funcionamiento de un filtro, las impurezas van pene-- trando cada vez más y puede llegar un momento en el que se encuentren, -- por lo menos en pequeña cantidad, en el agua filtrada.

Es también un hecho conocido, que un filtro de arena puede retener impurezas de dimensiones mucho menores que las de los espacios -- que se encuentran entre los granos de arena. Esto se debe a que las impurezas pueden ser retenidas por adsorción, es decir, por adherencia a la superficie de los granos.

En este fenómeno interviene la calidad de las materias en suspensión que se encuentran en el agua. En algunos casos, como por ejemplo, cuando se trata de sustancias coloidales, las impurezas pueden - atravesar una masa de arena si no se neutraliza previamente su carga electrostática por adición de un producto químico floculante, que permite que estas partículas se aglomeren entre sí y se adhieran a la superficie de los granos de arena.

Los principales factores que intervienen en la técnica de la filtración, son los siguientes:

- granulometría de la arena
- velocidad de filtración
- pérdida de carga máxima admitida en el filtro
- proceso de lavado de la arena
- pretratamiento del agua que va a filtrarse.

Naturalmente se tiende a aumentar la velocidad de filtración, - con objeto de reducir el volumen de obra de las instalaciones y por - consiguiente, su costo.

Al principio del desarrollo de la técnica de la depuración de - aguas, se realizaban filtraciones lentas.

Las condiciones en que se efectuaba el proceso eran muy parecidas a las de la filtración natural de las aguas de infiltración en el suelo.

Se observó que con esta filtración lenta se conseguía una reducción bastante importante del contenido de gérmenes microbianos, debido al desarrollo en la superficie de los granos de arena de una verdadera capa biológica, constituida por una acumulación de organismos -- aerobios. Sin embargo, siempre era necesario proceder a una esterilización final, presentándose además dificultades de funcionamiento -- cuando las aguas estaban muy cargadas de materias orgánicas, de materiales arcillosos en suspensión, o de ciertas algas que presentaban un gran problema para la operación de los filtros.

Estos inconvenientes, unidos al elevado gasto necesario para su instalación y a la dificultad de los lavados que exigían mucha mano de obra, ha traído como consecuencia que en la actualidad la filtración lenta haya sido prácticamente desplazada por la filtración rápida, precedida en muchos casos por floculación y sedimentación, obteniéndose así un conjunto con el que puede hacerse frente a variaciones de la calidad del agua cruda.

La gran innovación de los filtros rápidos fue la limpieza del lecho filtrante en lugar de hacerse raspando la capa superior del mismo, lo que era un sistema largo y costoso, se hacía invirtiendo el sentido del flujo que en el proceso de filtrado era de arriba hacia abajo y en el lavado de abajo hacia arriba, con lo cual se eliminaban las impurezas que habían quedado retenidas en el lecho. Esto facilitaba la operación casi continua del filtro y la velocidad de filtrado era aproximadamente 30 veces más que la de los filtros lentos.

Por esta razón, en Estados Unidos se introdujeron sistemas de mezcla coagulación y sedimentación en tanques separados, a fin de remover la mayoría de las partículas sedimentables antes de que alcanzasen a llegar a los filtros.

TÉCNICA DE LA FILTRACIÓN

La técnica básica de los filtros, es aquella que consiste en retener las partículas existentes en el agua; ya sea en la superficie o en profundidad, a través de un lecho filtrante.

Según las características de las partículas que se deben retener y del material filtrante utilizado, pueden intervenir uno o varios de los tres mecanismos siguientes:

a) MECANISMOS DE DEPOSITO

Este tipo de mecanismos pueden ser de dos tipos:

1.- Tamizado mecánico, que es la retención de las partículas más gruesas que la malla del filtro o los poros de los elementos filtrantes, que forman por sí mismos, un material filtrante. Este fenómeno interviene tanto más cuanto más fina es la malla del material filtrante.

2.- Depósito sobre el material filtrante: Las partículas en suspensión siguen en el líquido una línea de corriente; su talla comparada con el tamaño de los poros, podría permitirle atravesar el material filtrante, sin ser detenida. Sin embargo, a causa de los siguientes fenómenos, se produce un cambio de trayectoria:

- la interceptación directa
- la difusión por el movimiento Browniano
- la atracción por fuerzas de Van der Waals
- la inercia de las partículas
- la sedimentación, etc.

b) MECANISMOS DE FIJACION

Si la velocidad del flujo es pequeña, se favorece la fijación de

las partículas sobre la superficie del material filtrante, ya sea por fuerzas de adsorción y principalmente por fuerzas de Van der Waals.

c) MECANISMOS DE DESPRENDIMIENTO

En este mecanismo se produce una disminución del espacio entre las paredes del material recubiertas de partículas ya depositadas. Se crea un aumento en la velocidad y el flujo puede pasar de laminar a turbulento. Los depósitos retenidos pueden desprenderse parcialmente y ser arrastrados dentro del material filtrante e incluso con el filtrado.

Para que una filtración sea eficaz, es preciso que las materias puedan penetrar profundamente dentro del lecho y no bloquearlo en su superficie. Es conveniente que el o los materiales que componen el lecho, se elijan cuidadosamente, tanto en su granulometría como en la altura de capa, de forma que el filtrado responda a la calidad deseada.

Puede efectuarse esta filtración sin un acondicionamiento previo del agua si sólo se desea reducir su contenido en materias en suspensión, sin actuar sobre su color o su contenido de materia orgánica.

Cuando se pretende obtener la clarificación óptima de un agua, es necesario acondicionarla previamente mediante el uso de pretratamientos.

Un filtro se atasca a medida que su lecho se carga de materias retenidas. Cuando el atascamiento alcanza un valor excesivo o la calidad del filtrado no es aceptable, debe procederse al lavado del lecho filtrante. Es indispensable que, con este lavado, se devuelvan al lecho sus cualidades iniciales, sin las cuales, el filtro iría perdiendo eficacia y el material filtrante deberá retirarse para su limpieza completa o para ser reemplazado.

El buen funcionamiento del filtro depende del perfecto reparto a través de la masa filtrante del agua a filtrar, del agua de lavado y, eventualmente, del aire, si se utiliza este fluido en el lavado. Tiene por lo tanto, una importancia fundamental la forma de recogida de agua filtrada y del reparto de agua de lavado.

Según las características de las partículas que deben retenerse, puede efectuarse la filtración sobre una capa de mayor o menor altura, de material homogéneo, sobre dos o varias capas de diferentes granulometrías de materiales homogéneos a cada nivel o, por último, sobre una o varias capas de materiales de granulometría totalmente heterogénea y escalonada.

La eficacia de un filtro depende también del sistema de regulación de su caudal; su regulación individual, si existe, debe de estar al abrigo de cualquier fluctuación y la regulación de conjunto de la instalación debe evitar los golpes rápidos e importantes de caudal, en cada filtro, tanto en los períodos de cambio de caudal general, como durante la fase de lavado ya que, en caso contrario, las materias retenidas por el lecho atraviesan rápidamente el filtro que es traspasado prematuramente por la materia en suspensión en el agua.

Para asegurar una buena filtración, un filtro debe reunir numerosas condiciones. No existe un filtro universal, sino filtros adaptados especialmente a cada uno de los problemas que se plantean.

TÍTULO

VARIABLES DEL PROCESO DE FILTRACIÓN

Las dimensiones y eficiencia de las unidades de filtración y sus accesorios, dependen de:

La calidad del agua entrante

Tipo de filtro

Carga de proceso e hidráulica

Método e intensidad de limpieza

Naturaleza, tamaño y profundidad de los materiales filtrantes.

Lo que trae como consecuencia un estudio profundo de una serie - de parámetros o variables como son: la granulometría del material que se va a utilizar y la pérdida de carga que se presenta en cada uno de los procesos, por lo que a continuación daré una breve explicación de cada uno de estos parámetros.

GRANULOMETRIA

El objeto del lecho de grava en los filtros, es el de repartir - el flujo uniformemente en toda la masa del medio filtrante durante el lavado, además de servir de soporte para el lecho e impedir que los - granos de arena penetren en los drenes y los obstruyan durante la ope_{ra}ción normal. Para esto, es necesario que la grava quede bien granu_{la}da, de menor a mayor tamaño de arriba hacia abajo.

Generalmente, se coloca la grava en tres o cuatro capas de 10 -- cms. de espesor o más, según el tipo de dren que se use.

Una distribución típica, puede ser la siguiente:

CAPA	PROFUNDIDAD	D I M E N S I O N E S	
1	13 a 9 cms.	1 1/2" a 1"	6 1 1/2 a 3/4"
2	9 a 7 cms.	1" a 3/4"	6 3/4 a 3/8"
3	9 a 7 cms.	3/4" a 1/4"	6 3/8 a 3/16
4	9 a 7 cms.	1/4 a 1/8"	6 3/16 a 3/32
TOTAL	40 a 30 cms.		

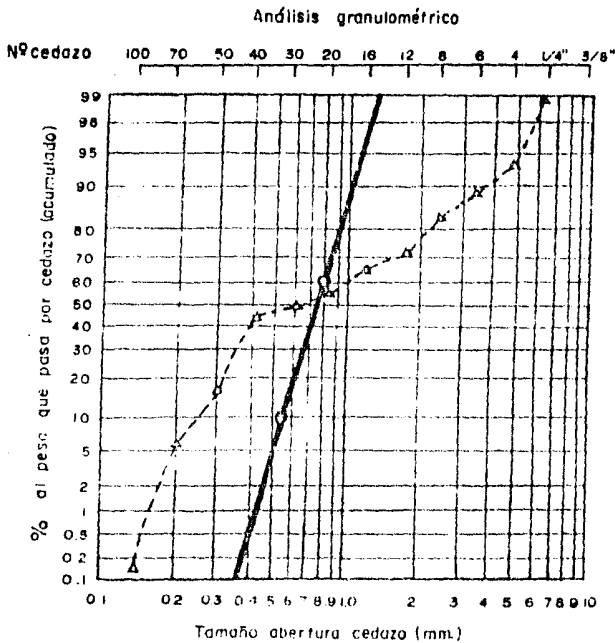
Para poder colocar las capas, se procede a cernir la grava con tamices de los tamaños especificados. El material debe de ser duro, de preferencia con los cantos rodados con un peso específico no menor de 2 600 Kgs/m³.

La arena para los filtros se selecciona por medio del cernido en tamices calibrados. La serie estándar Americana se presenta en la tabla siguiente:

* N° de Serie	Tamaño de la abertura	
	Milímetros (mm)	Pulgadas
100	0.140	0.0059
70	0.210	0.0083
50	0.297	0.0117
40	0.420	0.0165
30	0.595	0.0234
20	0.841	0.0331
16	1.190	0.9469
12	1.680	0.0661
8	2.380	0.0937
6	3.336	0.1320
4	4.760	0.1870
1/4"	6.360	0.2500
3/8"	9.510	0.3750
1/2"	12.700	0.5600
3/4"	19.000	0.7500
1"	25.400	1.0000

* El número de serie corresponde aproximadamente al número de alambres del cedazo por pulgada.

Para analizar la muestra, se pesa una cantidad de ella, se cierra en tamices consecutivos y se va obteniendo el tanto por ciento total al peso retenido en cada tamiz. El resultado se dibuja como se muestra en la siguiente gráfica, con el fin de facilitar las interpolaciones:



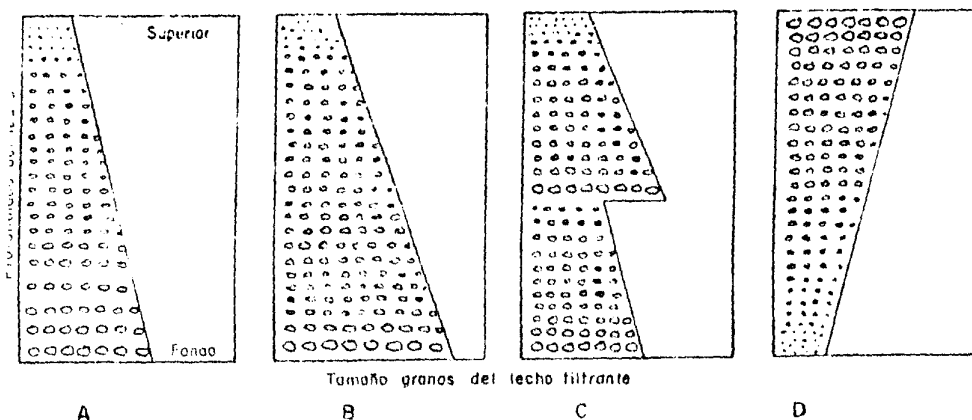
Allen Hacen sugirió en 1892 que se tuvieran en cuenta lo que él definió como "coeficiente de uniformidad y diámetro o talla efectiva", pues había observado que la resistencia que ofrecen los medios filtrantes al paso del flujo permanece casi constante, no importando la granulometría del lecho, cuando estos parámetros son los mismos.

El coeficiente de uniformidad es la razón del 60% al 10%, así:

$$Cu = \frac{\text{Talla del tamiz que dejaría pasar el 60\% (mm)}}{\text{Talla del tamiz que dejaría pasar el 10\% (mm)}}$$

El diámetro efectivo E es la talla del cedazo ideal que deja pasar el 10%.

Los lechos filtrantes más comunes se muestran en las siguientes figuras:



En el caso A se ve esquemáticamente un lecho de arena convencional como queda estratificado después del lavado. Este es el sistema que se emplea casi universalmente. En el caso B se ve un lecho de antracita (carbón), cuyos granos son generalmente más grandes que los de arena.

$$Cu = 1.45 - 2.5$$

$$E = 0.5 - 1.0$$

La antracita es un medio filtrante bastante conocido.

En el caso C se ve un lecho mezclado de antracita y arena. La antracita se usa con una talla efectiva mayor que la arena, lo que hace que la granulometría sea doblemente decreciente como indica la fi-

gura C.

En el caso D, el lecho está constituido por capas de antracita, arena y granate con gravedades específicas que varían entre 1.5 para el lecho superior y 4.5 para el granate del fondo. Las tallas efectivas varían entre 1.00 mm arriba y 0.15 mm abajo. Esto produce una gradación uniformemente decreciente del lecho. La planta de tratamiento de LA MARIPOSA que suministra agua a la Cd. de Caracas, tiene este sistema.

La capacidad de almacenamiento en estos cuatro tipos de lechos es variable, menor en el de arena y mayor en su orden al de antracita, arena y medios mezclados.

En el caso de los filtros lentos de arena, muy poco usados en la actualidad, constan de un lecho de arena no estratificado de unos 90 a 110 cms. de profundidad. El lecho va colocado sobre unos 15 a 30 cms. de grava que sirven para impedir que pase el material fino a los drenes.

PERDIDA DE CARGA

De hecho, durante el funcionamiento de un filtro, las impurezas van penetrando cada vez más hasta producir un atascamiento progresivo de la masa de arena que contribuye a reducir las secciones de paso libres entre los granos, lo que trae como consecuencia un aumento de la pérdida de carga del filtro.

Industrialmente, se pueden admitir pérdidas de carga hasta un valor de 4 m de altura de agua, cuando la talla efectiva de la arena es de 0.5 y debiendo limitar la pérdida de carga a 2.0 m de altura de agua, cuando la talla efectiva sea de 0.9.

Esta pérdida de carga expresa la diferencia de presión a la en--

trada y a la salida del filtro, medida directamente si se trata de un filtro cerrado que funciona a presión, o bien, la diferencia de nivel entre la parte superior del filtro y la arqueta de recepción de agua filtrada, cuando se trata de un filtro abierto.

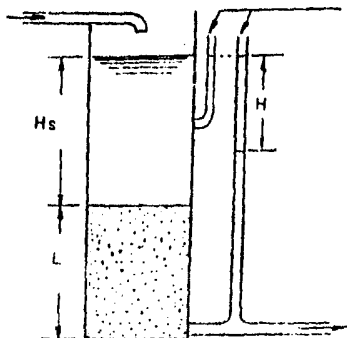
En el primer caso, la pérdida de carga varía durante el atascamiento del filtro. Si por ejemplo se ha decidido lavar el filtro -- cuando la pérdida de carga es de 4 m, se obtendrán durante la filtración pérdidas de carga crecientes de 0.3 a 4 m, lo cual no representa un consumo muy grande de energía eléctrica para el bombeo del agua.

Por el contrario, en el caso de un filtro abierto, los niveles a la entrada y salida siempre quedan determinados por construcción, es decir, que si se ha decidido lavar con una pérdida de carga de 2 m., se habrá construido la instalación de forma que se tenga una diferencia de nivel de 2 m. entre la parte superior del filtro y la arqueta de recepción de agua filtrada, cualquiera que sea el estado de atascamiento del filtro.

ECUACIONES QUE DETERMINAN LA PERDIDA DE CARGA EN UN LECHO FILTRANTE

- a) Ecuaciones que determinan la pérdida de carga inicial en un lecho filtrante. $\left\{ \begin{array}{l} \text{i. Ecuación de Fair y Hatch} \\ \text{ii. Ecuación de Rose} \end{array} \right.$
- b) Ecuaciones que determinan la penetración de las partículas en el lecho. $\left\{ \begin{array}{l} \text{i. Ecuación de Iwasaky e Ives} \\ \text{ii. Ecuación empírica de Fair} \end{array} \right.$

Al pasar un flujo q por un medio granular x , las partículas del medio producirán una pérdida de carga por fricción H .



Si el flujo es agua ideal sin impurezas ni sólidos, este valor H será constante durante todo el período de trabajo o carrera del filtro. Pero si contiene sólidos en suspensión o disolución, éstos irán produciendo una capa sobre la superficie del lecho y penetrando entre los intersticios de los granos, disminuyendo la porosidad del medio y aumentando la pérdida de carga con el tiempo. Por tanto, la pérdida de carga total H producida por un medio filtrante, puede expresarse así:

$$H = h_f + h' \phi(t) + h'' \phi(t)$$

En donde:

h_f = Pérdida de carga inicial

$h' \phi(t)$ = Pérdida de carga producida por la capa superficial de impurezas que se forma a veces en el lecho con el tiempo.

$h'' \phi(t)$ = Pérdida de carga producida por la disminución de la porosidad del lecho con el tiempo.

$$h_f = 0.014 \left[\sum_{i=1}^i \frac{x_i}{d_i} \right]^2$$

El valor de la suma x_i/d_i lo calculamos en la siguiente Tabla:

CALCULO DE LA PERDIDA DE CARGA EN UNA ARENA SIN ESTRATIFICAR

TABLA B

Nº Cedazo Serie Americana	d_i cms.	x_i	x_i/d_i
14 - 20	0.100	0.0092	0.09
20 - 28	0.070	0.0470	0.67
28 - 32	0.054	0.1467	2.72
32 - 35	0.046	0.1790	3.89
35 - 42	0.038	0.1750	4.61
42 - 48	0.032	0.1980	6.19
48 - 60	0.027	0.1540	5.71
60 - 65	0.023	0.0710	3.09
65 - 100	0.018	0.0200	1.11
		<u>1.0000</u>	<u>Σ</u> 28.08

Por tanto:

$$h_f = 0.014 \times 28.08^2 = 11.03 \text{ cms.}$$

Cuando los granos no son esféricos ni de diámetro uniforme pero están estratificados en el lecho, la pérdida de carga total será igual a la suma de las pérdidas de carga en cada estrato, entendiéndose por éste las partículas comprendidas entre dos cedazos consecutivos. Por tanto:

$$h_f = \sum_{i=1}^i \Delta h f_i$$

Todo lecho de arena se estratifica naturalmente cuando se lava con flujo ascendente capaz de expandir los granos y hacer que éstos, al suspender el lavado se coloquen de menor a mayor según sus densidades específicas y sus diámetros. Por eso en los filtros rápidos el lecho está estratificado, mientras que en los lentos no. La porosidad en uno y en otro caso es diferente; es mayor en los rápidos que

en los lentos, en los cuales, por no haber estratificación, los granos pequeños se meten entre los grandes disminuyendo el área de paso.

Vamos a suponer que la porosidad no varía en las diferentes capas y en consecuencia en cada una se cumple que: $L_i = x_i L$; L_i = Espesor de una capa.

$$L = \sum_{i=1}^i \frac{L_i}{x_i}$$

$$h_f = \frac{f' v}{g} v_s \frac{(1-p)^2}{p^3} \frac{36}{C_e^2} \sum_{i=1}^i \frac{L_i}{x_i} \left[\sum_{i=1}^i \frac{x_i}{d_i} \right]^2$$

O sea:

$$h_f = \frac{f' v}{g} v_s \frac{(1-p)^2}{p^3} \frac{36}{C_e^2} L \left[\sum_{i=1}^i \frac{x_i}{d_i^2} \right]$$

Ejemplo:

Hecho el análisis granulométrico de una arena para un filtro rápido que presentó las características que aparecen en la Tabla B. -- Calcular la pérdida de carga inicial para esa arena si $v_s = 0.204$ cm/seg., $p = 0.41$; $L = 45$ cms. Temperatura 10°C , $v = 0.0131$. La arena tiene un coeficiente promedio de $C_e = 0.95$.

Reemplazando en la fórmula:

$$h_f = \frac{5 \times 0.013}{981} 0.204 \frac{(1 - 0.41)^2}{0.41^3} \frac{36}{0.95} 45 \left[\sum_{i=1}^i \frac{x_i}{d_i^2} \right]$$

$$h_f = 0.117 \left[\sum_{i=1}^i \frac{x_i}{d_i^2} \right]$$

CALCULO DE LA PERDIDA DE CARGA PARA UN FILTRO RAPIDO

TABLA C

N° de Cedazo Serie Americana	x_i 10 ²	d_i mm.	d_i^2 10 ²	$\frac{x_i}{d_i^2}$
14 - 20	0.80	1.00	1.00	0.80
20 - 25	4.25	0.77	0.59	7.20
25 - 30	15.02	0.65	0.42	35.80
30 - 35	16.65	0.54	0.29	57.50
35 - 40	18.01	0.46	0.21	86.10
40 - 45	18.25	0.35	0.12	152.00
50 - 60	15.65	0.27	0.07	223.80
60 - 70	9.30	0.23	0.05	186.00
70 - 100	2.07	0.18	0.03	69.00
			$\sum_{i=1}^i$	$\frac{x_i}{d_i^2} = 818.20$

$$h_f = 0.117 \times 818.20 = 95.73 \text{ cms.}$$

FORMULA DE ROSE

En 1945 y 1949, H.E. Rose desarrolló una ecuación para determinar la pérdida de carga hidráulica en un filtro que es bastante similar a la de Fair y Hatch y se expresa así:

$$h_f = f'' \frac{L}{d} \frac{1}{p^4} \frac{v_s^2}{g}$$

El factor de fricción se encontró que se podía relacionar con el coeficiente de roce C_D :

$$f'' = 1.067 C_D$$

De donde:

$$C_D = 24/Nr + 3/\sqrt{N_R} + 0.34$$

$$N_R = \frac{C_e d v_s}{\nu}$$

Por tanto, cuando las partículas del lecho son esféricas y de tamaño uniforme, la ecuación queda:

$$h_f = 1.067 C_D \frac{L}{d} \frac{1}{p^4} \frac{v_s^2}{g}$$

Cuando no son esféricas, pero son de tamaño uniforme:

$$h_f = 1.067 C_D \frac{L}{C_e d} \frac{1}{p^4} \frac{v_s^2}{g}$$

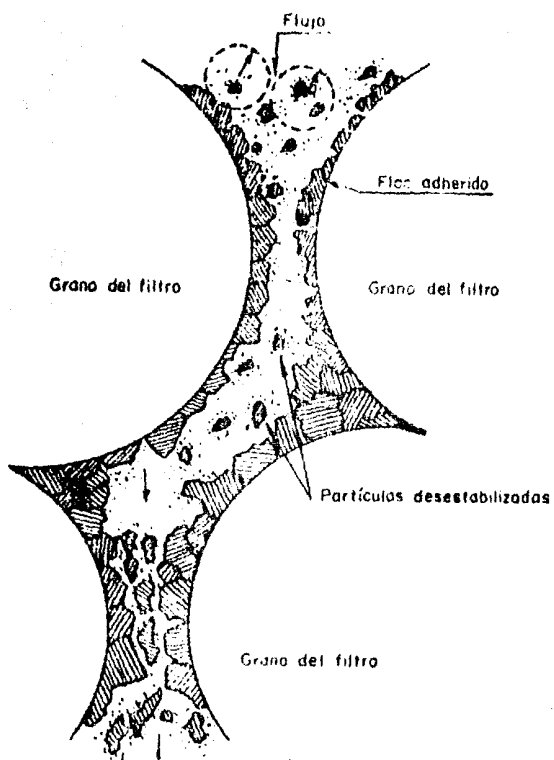
En donde:

C_y = Concentración de la solución y

C_z = Concentración de la solución z

Las dispersiones coloidales presentan también fenómenos de difusión, especialmente aquellas que contienen partículas de diámetro inferior a 3μ .

Experimentalmente se ha demostrado que suspensiones de arcilla se difunden a través de las líneas de flujo desde las áreas de mayor a las de menor concentración. Este explica el hecho de que exista remoción de partículas en un filtro aún en puntos donde la velocidad del flujo es cero y es factor que debe tomarse en cuenta como mecanismo de transporte de sólidos coloidales dentro del lecho filtrante.



La adherencia de las partículas en suspensión entre sí y con los granos del medio filtrante se debe a una multiplicidad de fenómenos, que aún no han sido estudiados a cabalidad.

TÍTULO

CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES DE FILTRACIÓN

El número de unidades depende de la magnitud de la planta, pero nunca deberán ser menos de dos para que una esté funcionando mientras la otra se lava.

Cuando el flujo a tratar es grande, el número de unidades se determina por consideraciones económicas. Lo más costoso de un filtro es el equipo, no la estructura. Por tanto, entre mayor número de filtros mayor será el costo del proceso de filtración y menor la capacidad del sistema de lavado. Sin embargo, unidades muy grandes no son recomendables, desde el punto de vista operativo, pues si se tuviera que poner fuera de uso una de ellas, el gasto total dado por la planta sufriría una merma considerable. En la práctica, rara vez se construyen filtros con capacidad mayor de 200 lts/seg, con el objeto de poder conseguir equipo estándar.

La profundidad de la caja del filtro debe ser la necesaria para: a) el sistema de drenaje, b) el medio filtrante (grava y arena), c) la carga de agua sobre el medio filtrante, d) borde libre.

Generalmente, el sistema de drenaje se puede acomodar en una altura que varía entre 10 a 50 cms., el medio filtrante en 0.90 mts a - 1.15 mts., la carga de agua entre 1.00 y 2.00 mts. y el borde libre - entre 0.50 y 1.00 mts., lo que da una profundidad total para la caja entre 2.50 y 4.65 mts.

Entre más hondo sea el filtro más costosa será la estructura, pero se puede poner una carga de agua mayor sobre el lecho, lo que permite una carrera más larga de filtración, sin que se produzca carga negativa en el medio filtrante. Deben, por lo tanto, balancearse estos dos aspectos.

Con capas sobre el filtro de 1.00 mt. por ejemplo, la pérdida de carga permisible entre lavados no podrá ser mayor de 1.20 - 1.50 mts. (sometiendo a succión parte del lecho). En cambio, con cargas sobre la arena de 1.80 mts. se podrían permitir hasta 2.30 mts. de pérdida sin efectuar el lavado, lo que permitiría una carrera más larga.

La relación ancho a largo también debe estar sometida a consideraciones económicas para buscar la estructura de menos costo. Cuando puede escogerse la relación ancho-largo, puede hacerse esta relación entre 1.11 y 1.66 con la tendencia a 1.25 y 1.33.

Las dimensiones reales, sin embargo, están limitadas por el sistema de drenaje que se usa.

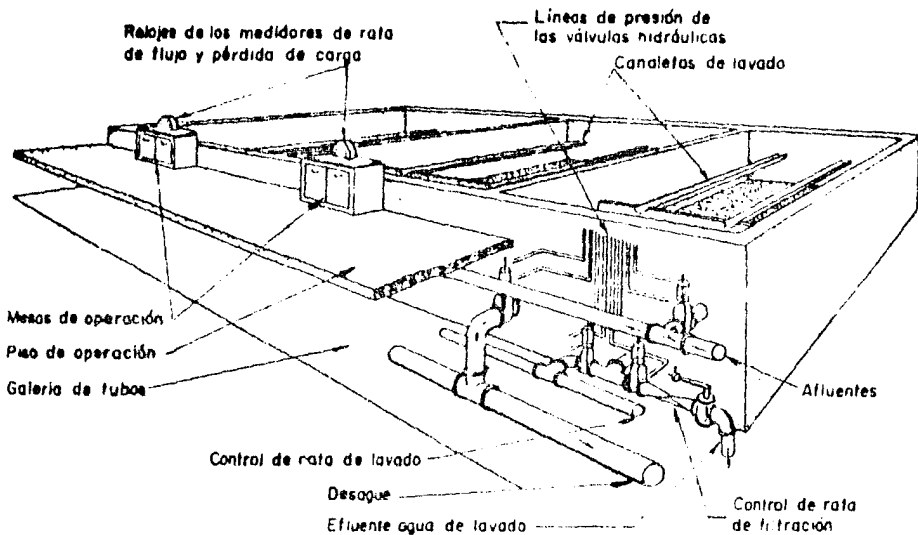
Para drenes constituidos por tubería principal y laterales, las dimensiones se pueden hacer a voluntad. Para fondos Weeler, la longitud y ancho deben ser múltiplos de 0.61 mts.; para Weeler monolíticos y placas porosas de 0.305 mts.; para fondos Leopold el ancho en el sentido de los bloques debe ser múltiplo de 0.305 mts.; para boquillas según especificaciones de los fabricantes generalmente quedan colocadas a 15 cms. centro a centro.

Galería del filtro y piso de operación:

Todo filtro tiene por lo menos uno de sus lados descubierto junto al cual va la galería o pasadizo, donde están colocados los tubos y válvulas. Esta galería debe ser amplia e iluminada de forma tal, que sea fácil revisar y reparar el equipo instalado. Encima de la galería va el piso de operación donde se colocan los controles. En la galería debe haber espacio, por lo menos, para los siguientes elementos:

- a) Tubo del afluente con su válvula.
- b) Tubo del efluente, su válvula y el control de rata de filtración.

- c) Tubo de lavado, su válvula y el control de rata de lavado.
- d) Tubo de drenaje y su válvula.
- e) Tuberías que conectan el efluente y el drenaje para el relavado (si lo hay) y sus válvulas.
- f) Tuberías para el lavado superficial y su válvula.



BATERIA DE FILTROS

En el mismo piso suelen ir instalados otros elementos, tales como bombas, compresoras, paneles de control, etc., según el espacio de que se disponga.

En el piso de operación, van las mesas de los filtros y los relojes que indican el flujo del filtro, la expansión de la arena y la pérdida de carga y en algún lugar muy visible, el reloj que indique el flujo de lavado.

Veamos ahora cada uno de los elementos enumerados:

CONDUCTO DEL AFLUENTE

Es el que conecta el sedimentador con el filtro y puede ser canal o tubo. El flujo debe de ir por escurrimiento libre y a una velocidad entre 0.3 y 0.6 mts/seg. El nivel de agua en el filtro, queda así fijada por el nivel de salida en el sedimentador; ya que si tiende a bajar la carga de agua en el filtro pasa más desde el sedimentador hasta restablecer el nivel primitivo, siempre y cuando el gasto dado por el filtro sea constante. Cuando son varias unidades filtran tes, la sección del conducto irá disminuyendo a medida que se va cargando cada unidad.

El tubo del efluente

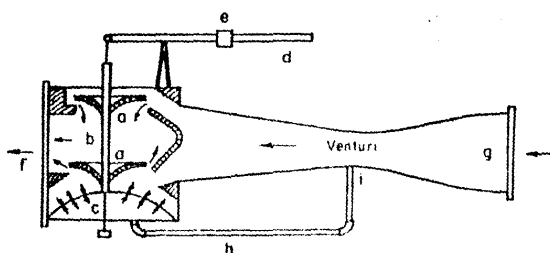
Es el que conecta los drenes del filtro con el tanque de almacenamiento, o de aguas claras. Cuando son varios filtros, los diversos efluentes van unidos a una o dos tuberías generales o canales, cuyo diámetro se incrementa con el gasto, para conservar una velocidad relativamente uniforme de 1.00 mt/seg. o más, según sea la carga disponible.

La práctica más común es mantener una rata de filtración constante, para lo cual hay que instalar una válvula especial, que se vaya abriendo a medida que la arena se va colmantando a fin de mantener el nivel de filtración equilibrado, pues de lo contrario éste iría subiendo durante el proceso, al aumentarse la pérdida de carga del lecho. Como por lo general en una planta, cada filtro tiene una pérdida de carga diferente, si no se establece un control, cada unidad trabajaría a una rata distinta y con niveles de agua variables.

Existen muchos tipos de controles de filtración. Los más comunes son:

- a) Tipo Venturi
- b) Tipo flotador y válvula de mariposa
- c) Tipo sifón.

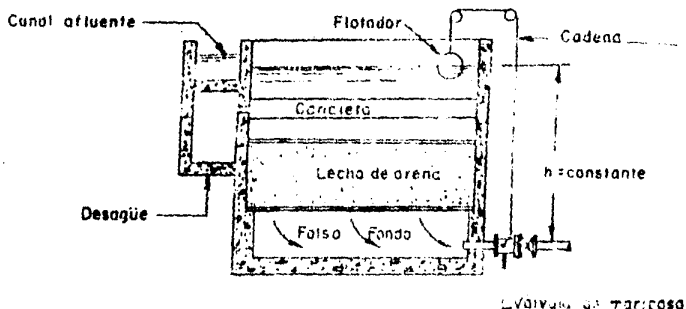
En el tipo Venturi, el agua pasa en el sentido que indican las flechas a través de un Venturi o tubo que tiene una concentración.



CONTROL DE RATA DE FLUJO
(TIPO SIMPLEX)

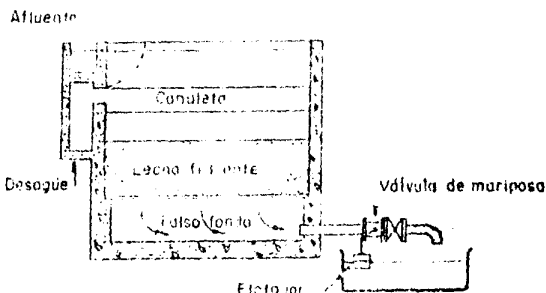
A la salida del Venturi hay una válvula consistente en dos discos (a), unidos por un vástago (b); la parte baja del vástago va conectada a un diafragma (c); y la parte alta a un balancín (d), sobre el cual corre un contrapeso (e), que se puede colocar en cualquier posición. Un tubo (h) conecta el cuello (i) del Venturi con la carga inferior del diafragma, de manera que la presión que existe en él es la presión producida por el agua a la salida del filtro. Mientras más cerca del balancín esté el contrapeso (e), la abertura de la válvula será mayor y se mantendrá en dicha posición dejando pasar una cantidad constante de agua, debido a la diferencia de presiones entre las dos caras del diafragma.

Si ésta llegara a variar, lo haría en ambas caras, lo que abriría o cerraría la válvula para restituir la rata de filtración prefijada.

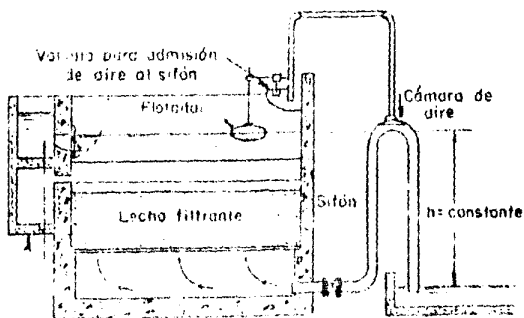


REGULACION DEL FLUJO POR FLOTADOR EN EL TANQUE DEL FILTRO Y VALVULA DE MARIPOSA

La regulación de caudal por flotador puede hacerse, conectando una válvula de mariposa (intercalada en el tubo efluente) con el nivel de agua superior del filtro, por medio de una cadena o una varilla, o al canal de agua filtrada (figura b).



REGULACION DEL FLUJO POR FLOTADOR EN EL CANAL DE AGUA FILTRADA Y VALVULA DE MARIPOSA



REGULACION DEL FLUJO POR SIFON NEYRAC-DEGREMONT

FIG. b

En el primer caso, cualquier variación en el nivel de agua en el filtro hace que el flotador suba o baje abriendo más o menos la válvula de mariposa. Manteniendo el nivel constante, la rata de filtración se mantiene aproximadamente constante. En el segundo caso, el flotador es accionado por el nivel en la canaleta de agua filtrada, la cual debe ser diseñada para que trabaje con una sección mojada constante.

Por último, la filtración puede regularse con un sifón parcialmente lleno como se muestra en la figura anterior.

Una válvula que puede ser accionada con un flotador admite, según el nivel de agua en el filtro, más o menos aire dentro del sifón, lo que aumenta o disminuye el área de paso del flujo en su parte superior, manteniendo el nivel de filtración estable y el gasto constante.

Tubo de lavado

Es el que conecta los drenes del filtro con el tanque o la bomba de lavado. Generalmente es de mayor diámetro, por cuanto a la cantidad de agua que tiene que pasar por él durante los 2 ó 3 minutos del lavado, es relativamente grande y la pérdida de carga permisible relativamente pequeña.

El agua de lavado también tiene que aplicarse a una rata constante fácilmente controlable desde la mesa de operaciones. Para esto se intercala en el tubo un regulador de rata de lavado ordinariamente del tubo Venturi; o de orificios cuyo funcionamiento es similar al descrito en la parte anterior. Un reloj indicador colocado en el piso de operación señala cuántos litros por segundo están pasando.

El agua de lavado puede también controlarse a la salida, permitiendo que el tubo de drenaje caiga a un canal abierto en donde se coloca un vertedero o canaleta Parshal, que mida el flujo de lavado, de forma que el operador pueda regular manualmente la cantidad de

agua aplicada.

Tubo de drenaje

Es el que conecta las canaletas con el desagüe de la planta. El objeto de este tubo es el de extraer el agua de lavado que contiene - todas las impurezas que se habían acumulado entre los granos de arena.

Cada unidad filtrante tiene su correspondiente tubo, el cual se conecta a un colector central que puede ser una tubería de hierro fundido o de cemento, o frecuentemente un pequeño canal cubierto, el cual pasa por el centro de la galería de filtros.

La velocidad en el conductor o tubo de lavado puede estar entre 1.5 y 3.00 mts/seg.

Otro equipo

Mesa de operación de los filtros

Se entiende por mesa de operación, el tablero en el cual van colocadas las llaves de las válvulas de control del filtro; éstas son - cuatro, cinco o seis según el caso.

- Afluente - desagüe - relavado
- Efluente - agua de lavado - lavado superficial

La menor o mayor abertura de la válvula está expresada en tanto por ciento o en pulgadas. El primer sistema es preferible.

En el respaldo de la mesa de operación o en su defecto, en un sitio visible, suelen ir colocados los medidores de pérdida de carga, - rata de agua de lavado, rata de filtración y expansión de la arena.

Las válvulas son de acción mecánica o hidráulica. Las de acción

mecánica se operan directamente en la galería del filtro, lo que resulta muy económico en plantas pequeñas, o transmitiendo el movimiento con vástagos de acero, al piso de operación. Cuando se usa este tipo de válvulas, la galería debe diseñarse para que todas las válvulas queden relativamente juntas y en un sitio donde sea fácil colocar ruedas de manejo o vástagos de extensión.

Las válvulas de acción hidráulica son más grandes y costosas, pero tienen la ventaja de poderse colocar con más libertad en la galería, pues la operación de ellas se transmite por líneas de presión a la mesa de operación. Es importante tener en cuenta que en países no industrializados, es preferible evitar la excesiva mecanización o el uso de equipos complicados que no son fácilmente reparables, pues esto a la larga se convierte en el peor obstáculo para la operación con tinua de las plantas.

TÍTULO

SISTEMAS DE CONTROL DE LOS FILTROS

Según la forma de control, tenemos tres tipos principales de filtros:

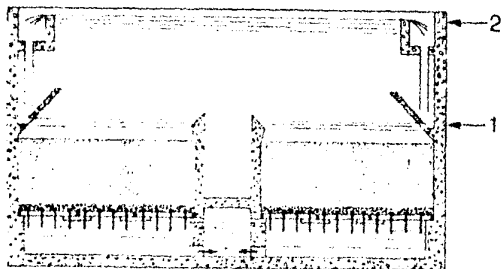
- a) Filtros de nivel de agua variable
- b) Filtros de caudal constante
- c) Filtros de caudal variable

a) FILTROS DE NIVEL DE AGUA VARIABLE

Estos son filtros de caudal constante y nivel de agua variable.

Se realiza una equipartición del caudal total a filtrar a la entrada de los filtros, donde el agua cae de una altura variable, según el estado de atascamiento. Cuando el filtro está limpio, la arena se encuentra cubierta de agua, cuyo nivel se mantiene por la cota del vertedero de salida de agua filtrada. Cuando el atascamiento es máximo, el nivel alcanza la cota del plano de agua de alimentación.

Generalmente, la variación de este nivel de agua a lo largo del ciclo es de 1.5 a 2.0 m., según la granulometría de la masa filtrante. Esta variación es menor (0.8 a 1.0 m.), cuando el filtro no contiene una masa filtrante, sino una masa de producto neutralizante, cuyo papel principal no es la filtración.



1 Nivel máximo filtro limpio

2 Nivel máximo filtro atascado

b) FILTROS DE CAUDAL CONSTANTE

El nivel de agua en este tipo de filtros es fijo o varía poco, y el agua filtrada se restituye a un nivel situado entre 2 y 3 m. más abajo y a un caudal constante e igual al caudal total que llega a la instalación, dividido entre el número de filtros en servicio.

Para mantener constante este caudal, cualquiera que sea el grado de atascamiento de los filtros, se dispone de un regulador colocado a la salida de cada uno de ellos, que actúa como regulador de nivel o como regulador de caudal.

Este equipo crea una pérdida de carga auxiliar importante cuando el filtro está limpio, pérdida que se anula cuando el filtro se encuentra totalmente atascado; el regulador compensa el atascamiento del lecho filtrante.

Para este tipo de filtros, se cuenta con los siguientes tipos de regulador:

1.- Regulador hidráulico

Puede realizarse una regulación de nivel con un sifón concéntrico y una caja de parcialización.

La caja de parcialización es el órgano de detención y de mando; el sifón como órgano regulador.

SIFON: Está constituido por dos tubos concéntricos, efectuándose la circulación desde el tubo interior hacia el tubo exterior. Su funcionamiento es idéntico al de un sifón ordinario, pero su estabilidad es mucho mejor.

Si se introduce aire en su parte superior, este aire es arrastrado por el agua en el conducto de salida, donde la densidad de la mez-

cla agua-aire decrece, disminuyendo así el vacío que se produce en el cuello. Sin aire de parcialización, el vacío en el cuello es igual a la pérdida de carga en el ramal de salida, es decir, a la altura H de caída entre el nivel de agua en el filtro y el plano de agua en la anqueta de restitución de agua filtrada. Con la parcialización por aire, este vacío se reduce a la altura h_1 , igual al producto H por la densidad de la mezcla agua-aire. La diferencia $H - h_1 = h_2$ representa la pérdida de carga creada por la aportación de aire como se muestra en la siguiente figura:

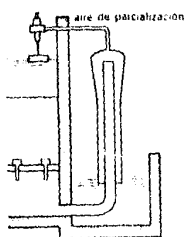


Fig. 203

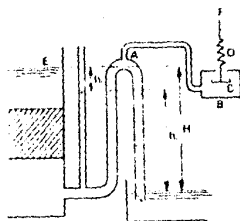


Fig. 204

Si h_1 representa la pérdida de carga del filtro limpio, debida al paso del caudal a filtrar a través del lecho filtrante, del fondo y de la tubería de salida de agua filtrada hasta el cuello del sifón, h_2 representa la pérdida de carga disponible por atascamiento del lecho filtrante.

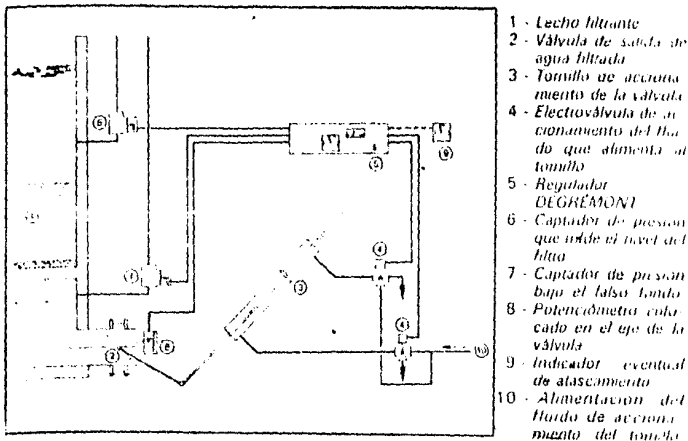
Basta por lo tanto, introducir en el cuello del sifón, estando limpio el filtro, una cantidad de aire suficiente para crear esta pérdida de carga h_2 y, a medida que el lecho filtrante vaya atascándose, reducir el caudal de aire hasta anularlo, llegando a $h_1 = H$.

La caja de parcialización es el órgano que regula el caudal de aire que se introduce en la parte superior del sifón, con lo que se consigue una compensación automática del atascamiento.

2.- Regulador electrónico

Los reguladores de aire comprimido necesitan, para su buen funcionamiento, un suministro de aire de control perfectamente depurado, del cual, generalmente, no se dispone en una instalación de tratamiento de aguas, por lo que el regulador electrónico, con maniobra hidráulica o neumática, sirve especialmente para este tipo de suministro.

El siguiente esquema nos muestra las partes que componen este tipo de regulador:



Regulación de una batería de filtros

a) Regulación con medida del caudal:

Cada filtro está equipado con un regulador colocado en la salida de agua filtrada, el cual evacua un caudal constante e idéntico en todos los filtros.

Según la desviación del caudal previamente fijado, el regulador cierra o abre el órgano que regula el caudal de salida (válvula de ma

riposa, válvula de diafragma, sifón) hasta que se alcanza el equilibrio medida - consigna.

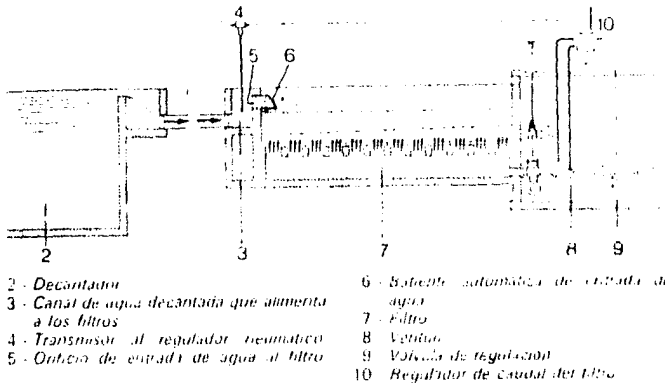
Esta forma de regulación se utiliza tanto en baterías de filtros a presión, como de filtros abiertos.

El caudal a tratar, por tanto se regula previamente a la entrada de la instalación y la regulación del conjunto consiste en dar un caudal de agua filtrada igual al de entrada, repartiéndolo en partes iguales entre el número de filtros.

Un órgano general controla el nivel en el depósito de agua filtrada y ajusta, en función del mismo, el caudal de consigna individual de cada filtro. Otro regulador general, colocado en el canal de alimentación de los filtros, controla el nivel de agua en dicho canal y lo mantiene con una variación entre 10 y 30 cm., actuando sobre el órgano de regulación del caudal que llega a la instalación, de forma que se suministre a los filtros un caudal igual al caudal de consigna.

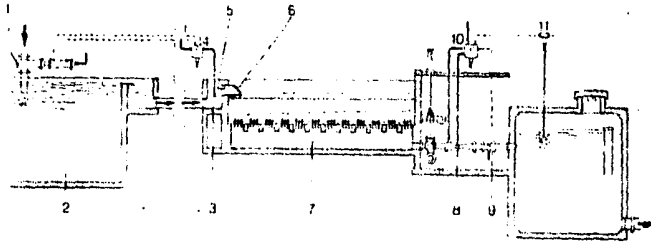
En los siguientes esquemas, se nos presenta la regulación del conjunto aguas arriba y aguas abajo.

En el primer esquema, el caudal de agua a tratar se regula previamente, y la regulación debe evacuar esta cantidad de agua, repartiéndola por igual entre el número de filtros en servicio.



Regulación con medida del caudal. Accionamiento aguas arriba

En el segundo, el caudal de agua a tratar debe ser igual al caudal de salida que es variable. Este caudal debe repartirse por igual entre el número de filtros en servicio.



- | | |
|---|---|
| 1 - Válvula neumática de llegada de agua
lenta | 6 - Batenete automática de entrada de
agua |
| 2 - Decantador | 7 - Filtro |
| 3 - Canal de agua decantada que alimenta
a los filtros | 8 - Venturi |
| 4 - Transmisor al regulador neumático. | 9 - Válvula de regulación |
| 5 - Orificio de entrada de agua al filtro | 10 - Regulador de caudal del filtro. |
| | 11 - Transmisor neumático del nivel en el
depósito de agua tratada |

Regulación con medida del caudal. Accionamiento aguas abajo

SISTEMAS DE CONTROL

Según los tipos de filtros y su regulación, pueden efectuarse - los siguientes sistemas de control:

a) Estado de atascamiento del lecho filtrante mediante un indica - dor de atascamiento que puede ser un medidor de presión o bien, un - vacuómetro (regulación por sifón).

b) Estado de apertura o cierre de las válvulas, que se obtiene - mediante unos conectores colocados sobre las válvulas del filtro.

c) Caudal de agua evacuada por cada filtro. Este control es --- útil cuando los filtros van equipados con reguladores de caudal, pero no lo es si trabajan con regulación de nivel y equirrepartición pre- - via.

d) Caudales de aire o de agua de lavado. Este control no siempre es necesario. Con un compresor volumétrico puede asegurarse un caudal correcto de aire. En cuanto a la medida del caudal de agua, sólo es necesaria en los filtros en los que debe regularse este caudal para obtener la expansión precisa correspondiente a la granulometría del material filtrante. Es el caso de los filtros lavados sólo con agua, o de filtros lavados con agua y aire, cuando estos dos fluidos se utilizan separadamente.

TÍTULO

SISTEMAS DE OPERACIÓN DE UNA PLANTA DE FILTRACIÓN

Los principales problemas que suelen presentarse en la operación de los filtros, son los siguientes:

- 1.- Bolas de barro
- 2.- Ruptura de los lechos filtrantes
- 3.- Carga negativa
- 4.- Pérdida de arena
- 5.- Desplazamiento de la arena

1.- BOLAS DE BARRO

Quando un filtro ha sido operado por largo tiempo y no ha sido lavado propiamente, el material en suspensión acarreado por el agua se amalgama con los granos de arena y forma bolas de barro. El tamaño de éstas varía entre 1 cm y 5 cms. o más, y su peso específico, es generalmente menor que el de la arena, por lo cual suelen acumularse tan sólo en las capas superficiales del filtro. Sin embargo, no es raro encontrar algunas de ellas distribuidas en toda la masa del lecho filtrante y aún adheridas fuertemente a la grava, cuando la limpieza periódica ha sido deficiente. Tal cosa produce una distribución no uniforme del agua de lavado, que hace cada vez más difícil la limpieza del filtro y por lo mismo, más corto su tiempo de operación, hasta llegar en casos graves a quedar el lecho completamente inservible.

El análisis periódico de la arena del filtro, es por eso una práctica muy recomendable. Se hace introduciendo unos 15 cms en el lecho filtrante, un cilindro de lámina de 3 pulgadas de diámetro, tapándolo herméticamente en la parte superior y extrayéndolo para obtener una muestra de las capas superficiales. Algunos acostumbran sacar tres o cuatro muestras de cada filtro una o dos veces por año.

La arena así obtenida se coloca en el tamiz N° 8 ó 10, el cual se introduce en el agua y con movimiento lento ascendente y descendente, se consigue que toda la arena pase y queden sólo las bolas de barro.

Se determinan luego cuidadosamente el volumen de la arena y el de las bolas de barro y se obtiene así el porcentaje de ellas existente en la muestra.

Según el estado de conservación de los filtros puede clasificarse a este respecto, en la siguiente forma:

Calificación del filtro	Porcentaje de bolas de barro
Excelente	0.0 - 0.1
Muy bueno	0.1 - 0.2
Bueno	0.2 - 0.5
Regular	0.5 - 1.0
Mediocre	1.0 - 2.5
Malo	2.5 - 5.0
Muy malo	< - 5.0

Para prevenir o eliminar las bolas de barro, se pueden utilizar los siguientes procedimientos:

- a) Mientras se mantiene agua de lavado a baja rata, se tamizan las capas superficiales del lecho filtrante con cribas o tamices de diámetro mayor que el de los granos de arena (por lo general se usa el de 1/4") y se extraen en esta forma las bolas de barro de las capas superficiales. Este procedimiento no elimina las bolas pequeñas.
- b) Se hace un fuerte lavado superficial, con agua proveniente de mangueras o chorros a presión, para producir una violenta agitación de la arena, raspando al mismo tiempo la superficie con rastillos metálicos. Luego se lava el filtro vigorosamente.

- c) Algunos operadores prefieren colocar una hélice en el extremo de un taladro corriente e introducirlo en la arena mientras se lava el filtro, para producir una considerable turbulencia.
- d) Puede hacerse un tratamiento químico al filtro con sosa cáustica, cloro o sal común. La sosa se usa en solución del 1% ó 2%, disolviendo 5-10 Kgs. de dicha sustancia por cada metro cuadrado de área filtrante, cuando se ha dejado sólo unos 30 cms. de capa de agua sobre ella. La solución de sosa se deja por unas 12 horas y luego se lava el filtro y se pone de nuevo en servicio. Este procedimiento es muy efectivo para reducir las películas de flóculos y materia orgánica que se forman en los granos.

El poner durante 24 horas 200-300 mg/lt de cloro en el filtro, cuyo flujo se ha suspendido, puede ser muy conveniente para acabar con el crecimiento de algas y materia orgánica que obstruyen el lecho.

Cloruro de sodio al 2%, es también útil para este propósito.

- e) Puede también picarse la superficie de la arena con un elemento punzante y lavar luego cuidadosamente el filtro.
- f) Si ninguno de los métodos anteriores da resultado, habrá que sacar toda la arena y aún la grava si fuera el caso, lavarla, tamizarla y volverla a poner, mezclándola con arena nueva.

2.- RUPTURA DEL LECHO FILTRANTE

Es un proceso similar al de las bolas de barro. El material gelatinoso acumulado a través del tiempo entre los granos de arena, forma una pasta con ellos, en el cual se abren grietas más o menos profundas. Estas se producen al principio en la superficie, pero a medida que el agua pasa a gran velocidad por ellas sin filtrarse, se van ensanchando más y haciéndose más hondas. Hay filtros en tales condiciones, que prácticamente no hacen ningún trabajo de filtración.

Las rupturas del lecho filtrante se debe a un lavado deficiente y se corrigen siguiendo los procedimientos indicados en el punto anterior.

3.- CARGA NEGATIVA

La carga negativa se presenta cuando la presión en el lecho filtrante es menor al de la atmósfera o sea inferior a 1.032 Kg/cm^2 . En estas condiciones, el filtro queda sometido internamente a un vacío parcial y entonces el aire disuelto en el agua, que a temperatura y presión atmosférica normales alcanza hasta un 3% del volumen, se libera y queda retenido en forma de burbujas dentro de la arena, llenando los poros con lo cual el filtro pierde capacidad.

La manera de evitar este inconveniente, es haciendo el lavado a tiempo. La mayoría de los filtros operan parcialmente con cargas negativas al final de sus carreras, sin producir mayores inconvenientes, siempre y cuando ésta no sea grande.

4.- PERDIDA DE ARENA

Al observar el agua que va al desagüe, proveniente del lavado, en algunos filtros se nota que contiene una cantidad mayor o menor de arena. Tal condición es siempre un defecto, pues la arena no debe perderse con el agua de lavado.

La causa de dicha dificultad se puede deber:

- a) canaletas de lavado demasiado bajas
 - b) cambio de peso específico de la arena
 - c) excesiva expansión de la arena.
- a) Cuando las pérdidas se deben a la primera causa, sólo se producen al principio cuando el filtro está relativamente nuevo. Posteriormente, no tiene por qué perder arena. La solución sería elevar las canaletas, ya que expandir menos el lecho puede ser -

perjudicial, si está por debajo de lo especificado.

- b) El peso específico de la arena cambia cuando se le adhiere a los granos material menos denso. Este caso es frecuente, en especial cuando se procesa el agua para ablandarla con cal y sosa, y la recarbotación es incompleta por falta de suficiente bióxido de carbono o cuando se alcaliniza el agua antes de filtrarla. El carbonato de calcio se precipita y se adhiere a la arena fuertemente, con lo que quedan entonces los granos más abultados. En estas condiciones, la expansión del lecho es más grande. No sería solución en este caso, disminuir la rata del agua de lavado, para expandir menos el lecho filtrante, ya que traería como consecuencia un lavado más deficiente que con el tiempo agravaría el problema. La solución, dada en el punto b) podía dar buenos resultados, siempre y cuando se remedie el aumento posterior de tamaño de la arena con una buena recarbonatación, o impidiendo que la cal caiga en el lecho.
- c) La expansión del lecho filtrante se ha dicho debe ser entre 1.30 y 1.50. Es pues necesario mantener un control riguroso de ella para evitar velocidades excesivas y perjudiciales que puedan botar parte del medio filtrante.

5.- DESPLAZAMIENTO DEL LECHO

La resistencia que presenta el lecho filtrante al paso del flujo, no es igual en toda la superficie del filtro. En los lados junto a los muros, por ejemplo, es mucho menor que en el centro y en las capas de encima, es mayor que en las de abajo. Todo esto crea una serie de corrientes verticales y horizontales, que en algunos casos desestratifican la arena, empujándola hacia arriba a lo largo de los muros.

En otros casos, es la grava que resulta desplazada cuando es demasiado fina y la distribución del agua de lavado es uniforme. Los drenes mal diseñados son el principal factor en el desplazamiento del

lecho. No siempre los sistemas de drenaje que se encuentran comúnmente evitan problemas de este tipo. Debe dársele cuidadosa consideración a los tipos de dren adecuados para cada caso.

TÍTULO

LAVADO DE LOS FILTROS

HIDRÁULICA DEL LAVADO

El lavado del filtro, es la operación por la cual se suspende el proceso de filtración y se inyecta agua por la parte de abajo del filtro (drenes) con presión adecuada y con objeto de que el lecho filtrante se expanda, los granos se froten y se desprenda todo el material que ha quedado retenido entre ellos en la operación de filtrado.

En sistemas de lavado de filtros, las prácticas americanas y europeas difieren un poco. Tradicionalmente entre nosotros el lecho se expande entre un 30% y un 50%.

Hay que hacer notar que la expansión exagerada de los granos de arena no beneficia al lavado, pues impide el roce o frotamiento de unos granos con otros, evitando el desplazamiento de las partículas adheridas a ellos durante el proceso de filtración. Por otra parte, si la expansión no es suficiente, el flóculo retenido en el lecho no puede salir por entre los granos de arena y alcanzar la canaleta de lavado.

Para expansiones de un 50%, lechos de 60 cms de profundidad, con estratificación convencional y coeficiente de uniformidad no mayor de 2.0, las ratas de lavado pueden ser aproximadamente las siguientes:

Tamaño aprox. de la arena (mm)	cms/min	Rata de lavado Lt/min/m ²	Lt/seg/m ²
0.25 - 0.35	61	610	10.2
0.35 - 0.65	76	760	12.7
0.65 - 0.95	89	890	14.7
0.95 - 1.35	100	1000	16.7

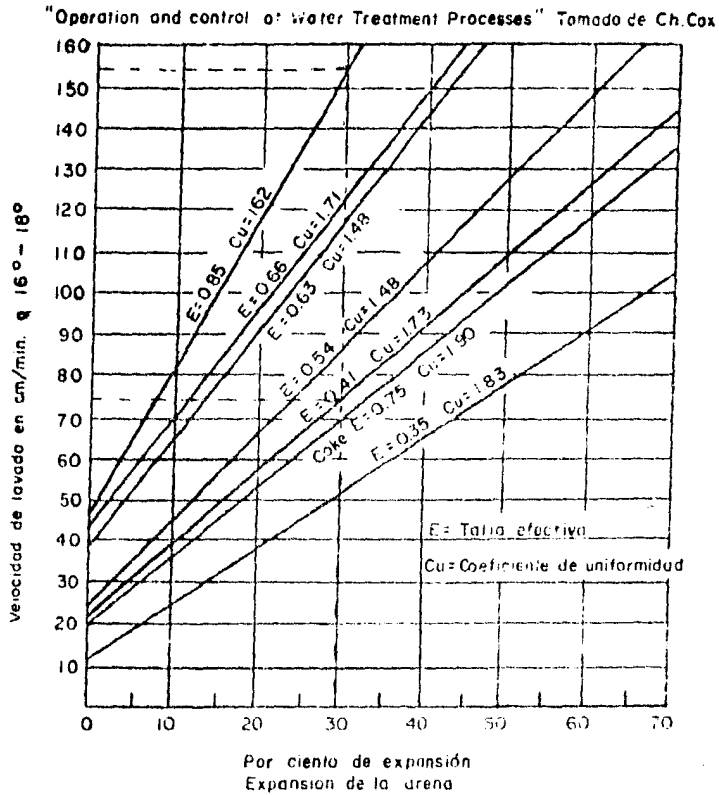
Tomando en cuenta que el agua de lavado no debe ser mayor del 3% del total filtrado.

El lavado tipo americano se complementa con lavado superficial, el cual se hace por medio de unos brazos giratorios o estáticos que inyectan agua sobre la superficie del lecho filtrante, a razón de 7.5 a 28 cms/min ó 75 a 280 Lts/min/m² con presión no inferior a 5.90 mts.

Cuando no se dispone de lavado superficial, debe ayudarse con chorros de manguera de alta presión, para romper completamente la película de fango del lecho. Es conveniente expandir un 10% el medio filtrante antes de iniciar el lavado superficial.

En Europa, por lo general se prefiere el lavado con agua y aire. La talla efectiva de la arena que se usa, es de alrededor de 0.6 - 1.0 mm. Primero se procede a inyectar el aire a razón de 14 - 25 Lt/seg/m² de área filtrante durante 5-10 minutos, con tendencia a 16 Lt/seg/m², para lo cual emplean drenes especialmente diseñados. Luego se hace el lavado con agua para una expansión de arena de un 20% a 30% con ratas de flujo entre 4.0 Lt/seg/m² y 7.0 Lt/seg/m², con tendencia a 5 Lt/seg/m². Por lo tanto, las ratas de lavado europeas son prácticamente la mitad de las americanas, lo que puede representar una economía en el agua de lavado (haciendo notar que mientras más grande sea el medio filtrante, mayor cantidad de agua de lavado se necesita para producir la misma expansión) y que además sostienen que la menor expansión del lecho produce mayor fricción entre los granos y una limpieza más completa de la arena.

Ejemplo: En la siguiente gráfica, podemos ver que una arena con $E = 0.85$ pueden requerirse 155 cms/min de lavado para producir un 30% de expansión, mientras que con arena de $E = 0.41$, requiere 75 cms/min para la misma expansión.



El lavado se puede hacer de la siguiente manera:

- a) Con agua filtrante, proveniente de un tanque elevado.
- b) Con agua inyectada por bombas que succionan del tanque de almacenamiento.

En el primer caso, debe construirse un tanque elevado ya sea sobre una colina vecina, sobre estructuras metálicas o sobre el mismo edificio de la planta.

En cualquiera de los tres casos, el tanque puede ser metálico o de concreto reforzado. Hay que tener en cuenta que el sitio donde se construye el tanque de lavado, debe de quedar lo más próximo posible a los filtros para evitar consumo exagerado de energía en el transporte del agua. La capacidad del tanque debe ser suficiente para lavar dos filtros en forma consecutiva, por un período de 5 a 7 minutos cada uno. Esto es, debe estimarse el volumen total de agua consumido - en 10-40 min. de lavado de un filtro a la máxima rata especificada - para el caso. Cuando se usa lavado superficial, hay que tener en --- cuenta también el consumo de agua producido por esta operación.

La altura a la que hay que colocar el tanque sobre el nivel del lecho filtrante se suele calcular, teniendo en cuenta todas las pérdidas de carga producidas por fricción en los tubos y accesorios que se usen, desde el tanque hasta los drenes del filtro y que la presión remanente a la entrada de éstos sea inferior a 5 mts. Cuando los dre--nes tengan formas geométricas conocidas que permitan el cálculo hi---dráulico de la pérdida de carga producida en ellas y se conozcan las características de la arena, se puede colocar el tanque a una altura tal, que el agua pueda llegar hasta la canaleta de lavado.

Por lo general, el cálculo se hace partiendo de la cota de la canaleta de lavado, a la que se le van sumando las pérdidas producidas por: el lecho filtrante expandido, drenes, tuberías y accesorios hasta el tanque, control de lavado y entradas y salidas.

Se puede utilizar un sistema de bombeo para el lavado, dependiendo de la economía en la operación.

FORMA DE REALIZAR EL LAVADO

Los filtros se controlan esencialmente con cuatro válvulas bási-cas:

1.- Válvula del Afluente

Con la cual se permite la entrada o no, del agua en el filtro.

2.- Válvula del Efluente

Con la cual se abre o cierra la salida del agua hacia el tanque de almacenamiento.

3.- Válvula de lavado

Con dicha válvula entra el agua de lavado al filtro.

4.- Válvula de drenaje

Con la que se conectan los drenes del filtro con el desagüe de la planta.

5.- En algunas ocasiones hay también:

Válvulas para el lavado superficial y válvula para el relavado, que sirve para unir el tubo del efluente con el drenaje, de forma que se pueda botar lo que se filtra inicialmente, después de cada lavado.

La operación de lavado, se debe realizar de la manera siguiente:

1.- Cerrar la válvula del afluente al 100%.

2.- Dejar la válvula del efluente abierta para que el agua del filtro baje muy cercana a la superficie de la arena.

3.- Abrir la válvula de drenaje 100%.

4.- Abrir gradualmente la válvula de lavado y lavado superficial. Es perar hasta 5 min. máximo, dejando que el agua entre a la rata - especificada por el filtro; cuando el agua salga relativamente - limpia, proceda de la manera siguiente:

- a) Cierre la válvula de lavado ascendente y lavado superficial - 100% y espere hasta que no caiga más agua en las canaletas.
- b) Cerrar la válvula de drenaje.
- c) Abrir la válvula del afluente 35 a 50%.
- d) Si se lleva a cabo el relavado, abra la válvula y permita que el agua en el inciso c) filtrada vaya al desagüe.
- e) Y por último, abra la válvula del efluente 100% y complete la apertura del afluente 100%.

Al inyectar agua por el fondo en un medio granular, pueden ocurrir tres tipos de regímenes:

- a) Si la velocidad de ascenso en el flujo de lavado V es menor que la velocidad de asentamiento de las partículas del medio filtrante V_s , el lecho no se expande.
- b) Si se sigue aumentando la rata de flujo hasta hacer que V sea mayor que V_s , el lecho se expande más y más y su porosidad aumenta proporcionalmente. La componente vertical de la velocidad del flujo entre las partículas, es mayor que la que existe encima -- del lecho.
- c) Cuando la velocidad del flujo de lavado V sobrepasa el valor V_s crítico, el lecho se fluidiza y los granos del medio son acarreados por el agua.

En el caso a), aunque el lecho no se expanda, la velocidad entre los granos aumenta hasta que la fuerza de arrastre del flujo es mayor que el que pase de las partículas;

en este momento ésta queda suspendida en la corriente ascendente. Si la rata de lavado sigue aumentando, la separación entre partículas se incrementa hasta que se rompe el equilibrio y los granos son arrastrados por el flujo.

Pérdidas de carga en la operación de lavado

La pérdida de carga en la operación de lavado es igual a:

$$h_f = L_e (S_s - 1) (1 - P_e)$$

donde:

h_f = pérdida de carga en mts.

L_e = espesor del lecho expandido

S_s = peso específico relativo de los granos del medio

P_e = porosidad del medio expandido.

Por experimentos, se ha determinado que:

$$P_e = \left(\frac{V}{V_s} \right)^{0.22}$$

y la rata de lavado

$$V_s = \frac{V}{P_e^{4.5}}$$

$$y \quad L_e = L \frac{1 - P}{1 - P_e}$$

L = espesor del lecho sin expandir.

P = Peso específico del lecho sin expandir.

La expansión del lecho está dada por

$$\epsilon = \frac{L_e}{L}$$

En la práctica se usan expansiones entre el 30% y el 50% ($\epsilon = 1.30$ a 1.50).

Conocidas las velocidades del lavado y sabiendo que el lecho está compuesto de partículas de tamaño uniforme, el valor de ϵ es:

$$\epsilon = (1 - P) \left[1 - \left(\frac{V}{V_s} \right)^{0.22} \right]$$

Cuando el lecho está formado por partículas no uniformes:

$$\epsilon = (1 - P) \sum_{i=1}^i \frac{X_i}{(1 - P_i \epsilon)} = (1 - P) \sum_{i=1}^i \frac{X_i}{\left[1 - \left(\frac{V}{V_s} \right)^{0.22} \right]}$$

donde X_i es el tanto por ciento retenido entre dos mallas consecutivas.

Hay que recordar que la temperatura tiene influencia directa en el proceso de expansión. Entre más alta sea la temperatura del agua, más grande deberá ser la rata de lavado.

Finalmente

$$h_f = L \frac{1 - P}{1 - \left(\frac{V}{V_s} \right)^{0.22}} (S_s - 1) \left[1 - \left(\frac{V}{V_s} \right)^{0.22} \right]$$

la pérdida de carga es:

Ejemplo:

Un lecho filtrante de 60 cms de espesor construido por una arena que tiene la distribución por tamaños que aparece en la siguiente ta-

bla, va a ser lavado con una rata de 61 cm/min. Encontrar cuál será la expansión del lecho filtrante si $V = 0.0131$ Stokes ($T = 10^\circ\text{C}$), $P = 0.414$ y $S_s = 2.650$ (y)

1	2	3	4	5	6	7	8
Malla N°	d cms	$X_i 10^2$	$y=212d$	$V_s=2.77 x$ cms/seg	$\frac{V}{V_s}$	$(\frac{V}{V_s})^{.22}$	$\frac{X_i \times 10^2}{1 - (\frac{V}{V_s})^{0.22}}$
8 - 10	0.218	0.5	46.8	30.7	3.31	0.475	0.9
10 - 14	0.154	2.3	32.6	23.7	4.29	0.500	4.6
14 - 20	0.100	9.3	21.2	15.9	6.39	0.543	20.3
20 - 28	0.070	24.8	14.8	11.1	9.15	0.591	60.2
28 - 32	0.054	20.6	10.5	8.36	12.20	0.630	55.3
32 - 35	0.046	16.4	9.75	6.69	15.20	0.661	47.9
35 - 42	0.038	12.1	8.05	5.58	18.20	0.687	38.4
42 - 48	0.032	14.0	6.78	4.18	24.30	0.733	53.2

$$\Sigma = 280.8$$

Análisis de arena hecho en el laboratorio

El valor de V_s en la columna 5 se calcula de la siguiente manera:

$$x = \frac{V_s}{\left[g (S_s - 1) y \right]^{1/3}} = \frac{V_s}{\left[981 (2.65 - 1) 0.0131 \right]^{1/3}}$$

$$x = \frac{V_s}{2.77} \quad V_s = 2.77 x$$

La columna 4:

$$\frac{y}{d} = \left[\frac{g (S_s - 1)}{y^2} \right]^{1/3} = \left[\frac{981 (2.65 - 1)}{(0.0131)^2} \right]^{1/3} \approx 2.12$$

$$y = 212 d$$

La columna 6 es el valor de $V = 61$ cm/min y los valores de V_s

$$V = 61 \text{ cm/min} = \frac{10^2 \times 61}{60} = 101.6 \text{ cm/seg.}$$

El porcentaje de expansión:

$$\epsilon = (1 - P) \sum_{i=1}^i \frac{X_i}{\left[1 - \left(\frac{V}{V_s} \right)^{0.22} \right]}$$

$$\epsilon = (1 - 0.414) \quad 280.8 \times 10^{-2} = 1.645$$

$$\epsilon = 65\%$$

La profundidad del lecho expandido será:

$$L_e = \epsilon \cdot L = 60 \times 1.65 = 99 \text{ cms.}$$

Nótese que las capas se van expandiendo más a medida que el diámetro de sus granos es menor.

Canaletas de lavado

El flujo que se inyecta por la parte inferior del filtro se recoge en la canaleta, de manera uniforme hasta llegar al desagüe.

Las secciones de las canaletas son muy variadas. Las metálicas suelen construirse con forma irregular, semi-circulares o rectangulares, las de concreto generalmente son rectangulares con el fondo en ve.

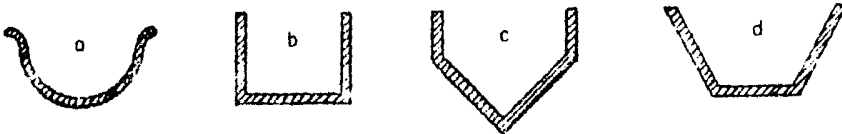
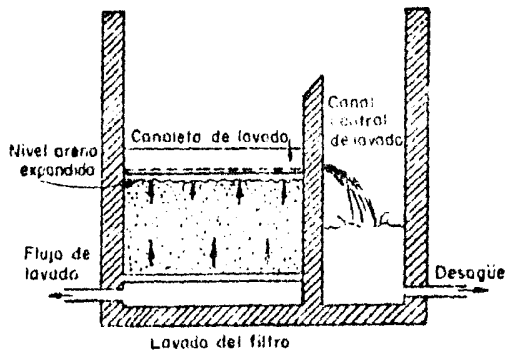
Para ayudar al transporte del material, se acostumbra a dejar las canaletas con una pendiente en el fondo del 2% y 5% hacia la boca de salida.

La distancia entre canaletas adyacentes no debe ser mayor de 2 mts., con el objeto de obtener una rata de salida uniforme. Las alturas a las cuales deben colocarse es un factor fundamental en la operación de los filtros. Si quedan muy bajas, al expandirse el lecho -

filtrante, sus capas superficiales pueden caer a ellas mezcladas con agua de lavado; y si quedan demasiado altas, las impurezas pueden quedar retenidas. La altura debe fijarse de tal manera que el borde de la canaleta quede por encima de la máxima elevación de la arena expandida durante el lavado.

El número y tamaño de las canaletas depende de la capacidad del filtro y de la rata de lavado que se quiere aplicar.

Por lo general, se calculan para trabajar de un 30% a un 50%, más del gasto teóricamente necesario.



Diferentes secciones de canaletas de lavado

Para calcular el caudal dado por una canaleta, Camp encontró la siguiente fórmula:

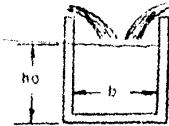
$$Q = 0.65 W h_o^{3/2}$$

Donde:

Q = Gasto dado por la canaleta en lt/min.

W = Ancho de la canaleta en cms.

h_o = Máximo nivel de agua en la canaleta en cms.

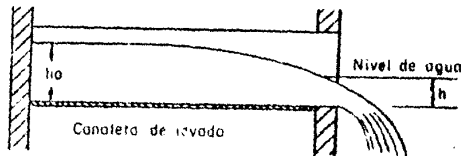


La fórmula anterior sólo se aplica cuando la descarga de la canaleta es libre.

Cuando la canaleta está sumergida:

$$h_o = \sqrt{h_e^2 + \frac{2 Q^2}{g W^2 h_e}}$$

$$Q = \sqrt{0.5 g W h (h_o^2 - h_e^2)}$$



Ejemplo:

Un filtro tiene una capacidad de 2400 m³/día, trabajando con rata normal y va a ser lavado con 800 lt/min/m². Se desea conocer la sección y dimensiones del filtro y las canaletas de lavado. Además, la altura de las canaletas sobre la arena, si el lecho filtrante tiene 70 cms. de profundidad y se quiere expandir un 50%.

$$\text{Area del filtro: } A = \frac{Q}{V} = \frac{2\,400}{117.5} = 20.2 \text{ m}^2$$

$$\text{Dimensiones } 4 \times 5 \text{ mts. } 4 \times 5 = 20 \text{ m}^2 \approx 20.2 \text{ m}^2$$

$$\text{Gasto de lavado } Q = 800 \text{ lt/min/m}^2 \times 20 \text{ m}^2 = 16\,000 \text{ lt/min.}$$

Si ponemos dos canaletas rectangulares, el gasto por canaleta será:

$$Q = \frac{16\,000}{2} = 0.65 \text{ } W h_0^{3/2}$$

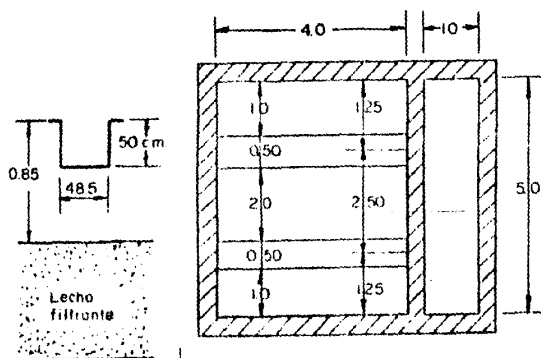
para $h_0 = 40 \text{ cms}$ (con borde libre de 50 cms)

$$W = \frac{16\,000 \text{ lt/min}}{0.65 (2) (40)^{3/2}} = 48.4 \text{ cms.}$$

Para una expansión del 50%, el lecho alcanzará 70 cms x 0.50 = 35 cms.

Altura total 35 + 50 = 85 cms. desde el lecho hasta el borde de la canaleta.

El siguiente esquema indica cómo quedaría la sección del filtro y la canaleta.



TÍTULO

SISTEMAS DE DRENAJE DE LOS FILTROS

El objeto de los drenes que se colocan en el fondo del filtro es:

- Recolectar y extraer el agua filtrada.
- Distribuir uniformemente el agua de lavado en el lecho filtrante. Tomando en cuenta que si los drenes están mal diseñados, desestratifican la arena y aún la grava, con graves consecuencias para el lecho filtrante.

Para cumplir con estos propósitos de la manera más eficiente, -- existen en el mercado gran variedad de tipos de drenes.

Los sistemas de drenaje (más comunes), se pueden clasificar en -- tres tipos:

- | | | |
|-------------------------|---|--|
| 1.- Tuberías perforadas | { | para trabajar con grava
para trabajar con bloques y grava (bloques tipo Wagner) |
| 2.- Falsos fondos | { | tipo Weeler
tipo Leopold
Boquillas |
| 3.- Placas porosas | { | bloques carborundum |

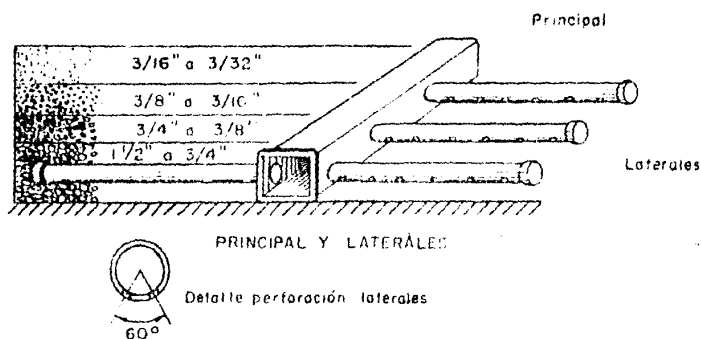
TUBERIAS PERFORADAS PARA TRABAJO CON GRAVA

Es el sistema de drenaje más antiguo y anteriormente el más usado. En la actualidad está cayendo en desuso, por el problema que se presenta por la corrosión de los tubos. Consiste en una tubería principal de hierro fundido o galvanizado, al cual van pegados una serie de tubos perforados a ambos lados.

La superficie total de los orificios debe ser del 0.2 al 0.33% - del área filtrante y el diámetro de cada uno varía entre 6.5 y 12.5 - mm., colocados a distancias entre 7.5 y 20 cms. uno de otro. La distancia entre laterales es de 15 a 20 cms. de centro a centro y las perforaciones forman un ángulo de 30° con respecto a la vertical. La altura de los tubos sobre el fondo del filtro debe ser de 3.5 cms.

La relación de longitud de los laterales a su diámetro, no debe exceder de 60.

El sistema se muestra a continuación:



El mayor inconveniente de este sistema, como ya lo mencioné, es la corrosión de los tubos; por lo que se han intentado fabricar con asbesto-cemento, con el borde de los orificios reforzados con cobre.

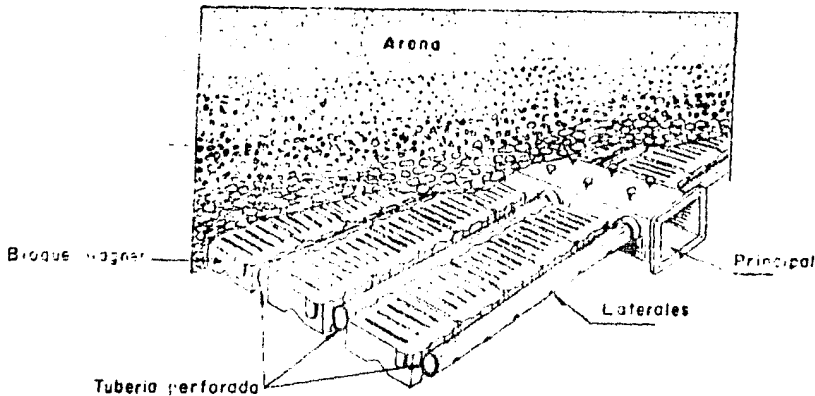
TUBERIAS PERFORADAS PARA TRABAJAR CON BLOQUES Y GRAVA

El más conocido de estos sistemas, es el producido por la Cía. - Infilco Inc. (Tucson, Arizona. U.S.A.) llamado bloque Wagner.

Este tipo de bloques es fabricado con concreto en varias dimen--

siones, para ser intercalados entre los tubos laterales, como se muestra en la figura. El tamaño más pequeño es el de 10 3/8" y 9 5/8", - con un peso aproximado de 10 kilogramos por unidad.

El objeto de los bloques Wagner, es el de reemplazar el tipo de grava más gruesa (2" a 3/4") y producir una distribución más eficiente de los chorros de agua que provienen de los tubos laterales durante el lavado.



FONDO DE TUBERIA CON BLOQUES WAGNER

FALSOS FONDOS

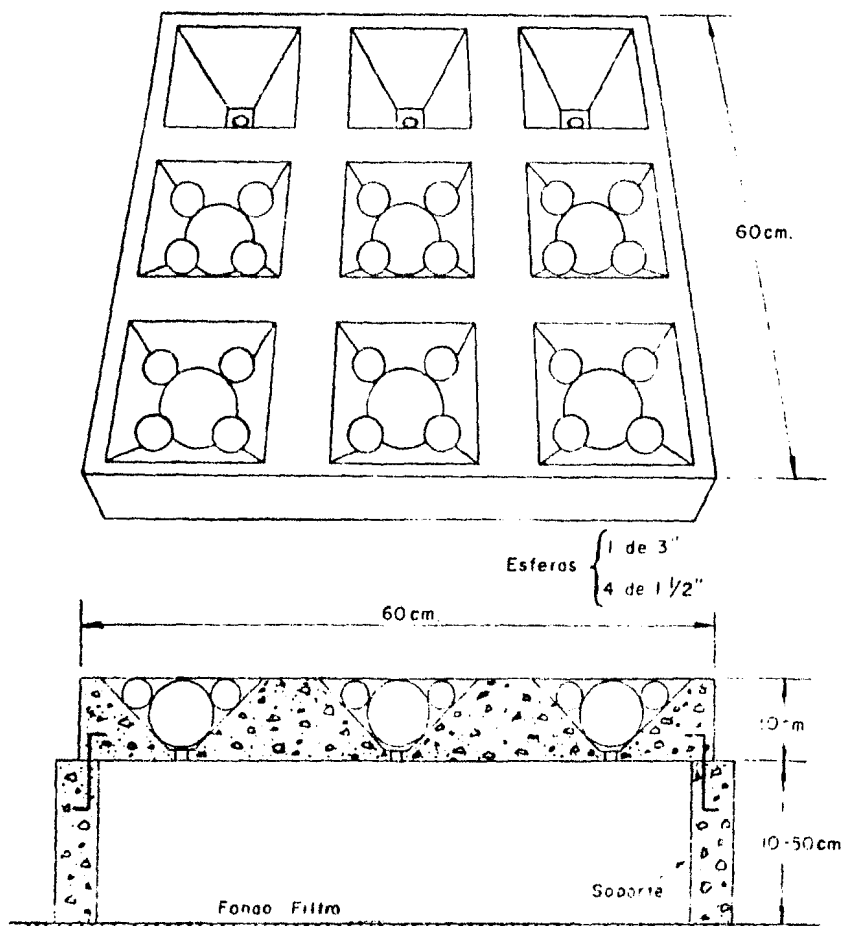
1.- TIPO WHEELER

El fondo Wheeler es patente de la compañía Builder Providence Inc. y se ha fabricado desde 1913. Consiste en una losa de concreto hundido a 10-50 cms. sobre el fondo del filtro, provisto de orificios troncosónicos para el paso del agua. Existen dos tipos básicos:

- a) Con losas prefabricadas.
- b) Monolítico fundido en el sitio.

El primero consiste en losas prefabricadas de concreto de 0.60 x 0.60 y 0.10 mts. de espesor, en las cuales aparecen 9 depresiones -- troncónicas de 15 x 15 cms., en las cuales van colocadas 5 esferas de porcelana de 1 1/2" de diámetro. Las losas se pueden colocar sobre soportes de concreto anclados en ellas de 10 a 50 cms. de altura. La pérdida de carga en un lavado de 180 cm/min. es de 60 cms.

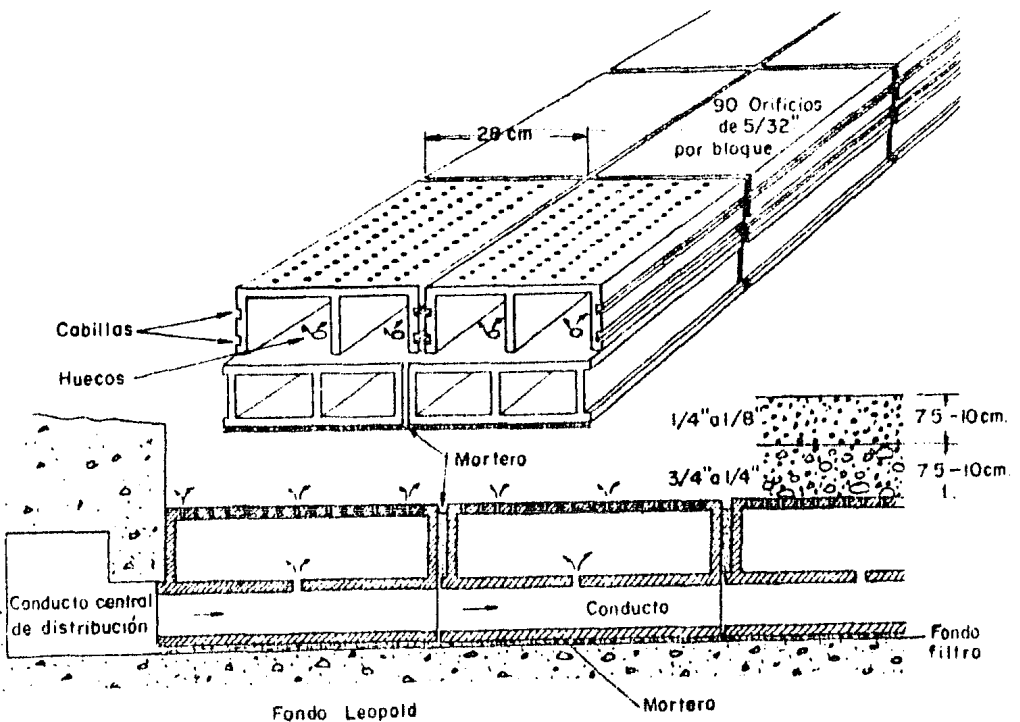
El segundo modelo, para fundir en el sitio, se hace con moldes -- suministrados por la Cía. y es en todo semejante al prefabricado, sólo que el espesor de la losa es de 17.6 cms y las depresiones troncónicas de 0.224 x 0.224 mts con 13 esferas: 5 de 3" y 8 de 1 1/2". La pérdida de carga que se produce en el lavado de 100 cms/min es de -- 1.50 mts.



2.- TIPO LEOPOLD

Este fondo de filtro patentado por la Leopold Co., ha venido instalándose desde 1926.

Consiste en bloques de arcilla vitrificada refractaria a la corrosión, de 11" de ancho y divididos en dos compartimientos: el inferior sirve de conducto de distribución similar al sistema principal y laterales; y el superior comunicado con el inferior mediante un hueco de 1" de diámetro. La cara que queda en contacto con la grava consta de 90 agujeros por cada bloque de $5/32$ " espaciados 3.1 cms. de centro a centro y que actúan a manera de criba para distribuir el agua para el lavado. Con este tipo de drenes se puede disminuir el espesor de la grava, dejando sólo los lechos más finos. Todos los bloques se orientan a un conducto central de repartición. Los bloques se colocan sobre un mortero. Al lado de cada pieza se colocan una especie de ranuras llamadas cabillas, dejando 1" de holgura alrededor de cada pieza y el espacio existente se rellena con concreto o mortero para hacer las uniones como se muestra a continuación:

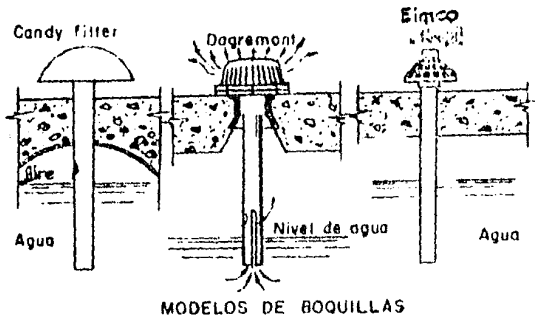


3.- BOQUILLAS

El sistema de boquillas consiste en colar de 10 a 60 cms. sobre el fondo del filtro una losa perforada para colocar éstas, que generalmente son de plástico.

Se usan por lo general para sistemas lavados con aire y agua, -- utilizándole más las compañías europeas.

El aire hace bajar el nivel del agua en el falso fondo y puede de esta manera penetrar por el orificio o ranura dejado en los vástagos de las boquillas. Cuando se lava con agua la misma boquilla, sirve para distribuir el flujo. Muchas de éstas son diseñadas para reducir o evitar los lechos de grava.



PLACAS POROSAS

La Cía. Carborundum, U.S.A. las vende desde 1943 y consisten en placas compuestas de granos relativamente grandes de óxido de aluminio mezclados con cerámica y fundidos a 1200°C. Dichas placas se pueden obtener en varias dimensiones, la más común es de 30 x 30 cms. y se coloca sobre soportes metálicos o de concreto a una altura de 20 a 60 cms. Su uso permite no emplear grava de soporte y su desventaja es que son quebradizas y sus poros se tapan algunas veces con el tiempo.

CONCLUSIONES

Uno de los principales caminos a seguir para mejorar y actualizar los métodos existentes y hacerlos menos costosos, es llevando a cabo un estudio más profundo sobre los problemas y soluciones que se le deben de dar a el agua potable que cada día escasea más en nuestro País y en el mundo en general.

Para esto, es necesario que todos los técnicos e ingenieros que se dedican a esta rama logren aprender la tecnología e inclusive perfeccionar e iniciar nuevos métodos para que nuestro País adquiriera sus propias técnicas; así como la instalación de suficientes laboratorios de pruebas y la utilización de materiales y patentes nacionales.

Como consecuencia de lo anterior y gracias al empeño de cada uno de nosotros, lograremos que el problema se torne menos crítico.

B I B L I O G R A F Í A

Manual de tratamiento de aguas potables

Ing. Jorge Arboleda Valencia

Ing. Fernando Vargas Caballero

Ing. Hernando Correal Correal

Tratamiento de aguas de abastecimiento

Prof. José M. de Acevedo Netto

Abastecimiento de aguas y remoción de aguas residuales

Gordon Maskew Fair

John Charles Geyer

Daniel Alexander Okun

"The Quest for pure Water"

M.M. Baker

Tratamiento de aguas

Degremont

Filtros Aguaznr

Pelletier S.H.

Manual de tratamiento de aguas negras

Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York

Herman E. Hilleboe

"Optimum Design and Operation of Filtration plant"

J.H. Dillingham

J.L. Cleasby