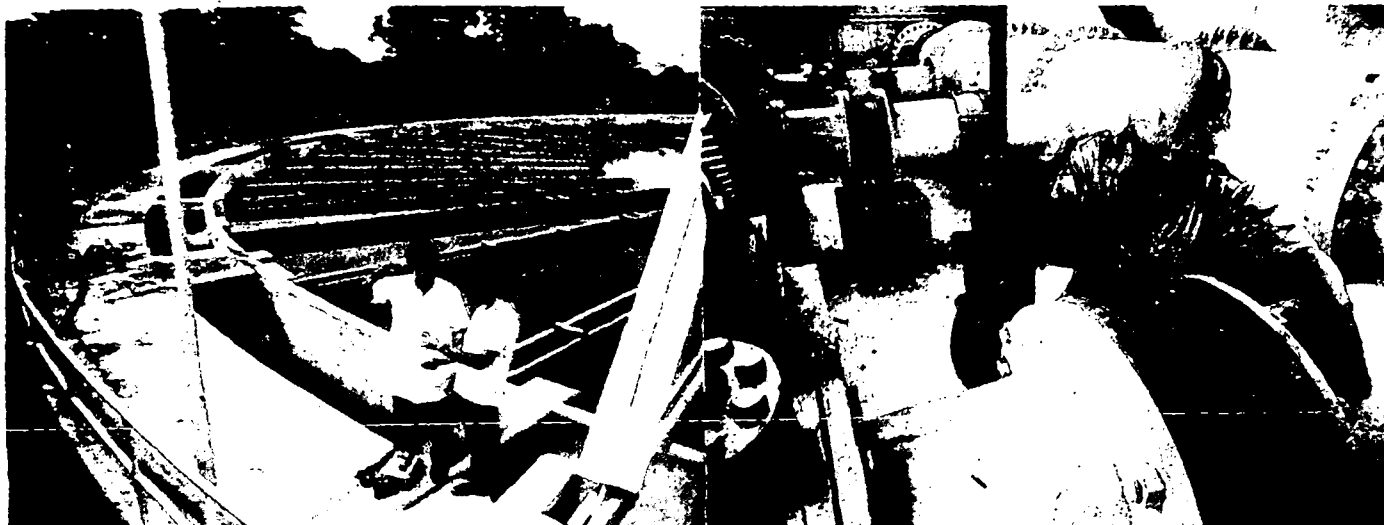


LIBRARY  
INTERNATIONAL REFERENCE CENTRE  
FOR COMMUNITY WATER SUPPLY AND  
SANITATION (IRC)

## ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE FILTRACION A TASA DECLINANTE



### RESUMEN

En el presente análisis se muestra cómo después de lavar un filtro y al ponerse nuevamente en operación, el nivel del agua asciende en el filtro recién lavado mientras que desciende en los demás. Por lo tanto el incremento de nivel no es igual para todos los filtros, situación que debe tenerse en cuenta si se desea calcular el nivel máximo del agua en el sistema de filtración.

### INTRODUCCION

Para calcular la altura de un filtro que opera con filtración a velocidad declinante se han formulado varios procedimientos matemáticos de mucho interés para los Ingenieros Civiles y Sanitarios especializados en el diseño de plantas de potabilización de agua. (véanse refs. 1, 2 y 3).

Para que pueda darse la tasa declinante completa, es decir, la menos uniforme posible desde un punto de vista práctico, es necesario que la entrada al filtro esté siempre ahogada y que las pérdidas en dicha entrada sean muy pequeñas. La primera condición permite que todos los filtros actúen conjuntamente influyéndose los unos a los otros y la segunda da como resultado que después de haberse alcanzado el nivel mínimo en un filtro recién lavado la superficie del agua sea la misma para todos los filtros del sistema mientras se va alcanzando lentamente el nivel máximo. Antes de haberse alcanzado el nivel de equilibrio, una vez puesto en operación el filtro recién lavado, éste y a veces algunos filtros adyacentes, suben de nivel mientras en los restantes el nivel desciende. Esto se explica en los párrafos siguientes.

### VARIACION DE NIVEL

En la **Figura 1** se muestra un esquema de la batería de filtros y los diferentes niveles alcanzados durante la operación del sistema.

El nivel 3, N3, es el nivel más alto permitido en el canal de distribución del canal afluente a los filtros. A este nivel N3 corresponde el nivel N2 dentro de la caja de la unidad filtrante. El nivel N1 es el nivel mínimo que adquiere un filtro recién lavado, en su operación normal. Es el llamado nivel de equilibrio. El nivel N4 corresponde al borde de la canaleta de lavado en los sistemas de lavado mutuo.

Supóngase que una vez alcanzado el nivel N3 se lava el filtro F1. El nivel N5 es el nivel en el canal de recolección antes de que se ponga de nuevo en operación el filtro recién lavado. Es el mínimo nivel en dicho canal y se transmite al interior del filtro F1 mientras no se haya abierto la compuerta de entrada A1. Ahora se abre la compuerta A1 para iniciar la operación del filtro F1. Sobre este orificio se dispone de una carga inicial  $H_i$  grande, la cual producirá un caudal de entrada al filtro relativamente alto. Se establece un flujo transitorio entre A1 y C1 caracterizado por un aumento de nivel en el filtro 1 que conjuntamente con el descenso del nivel N3 va disminuyendo el caudal de entrada. Entre el canal de recolección y el canal de distribución se llega entonces a un equilibrio de caudales definido por el caudal máximo de filtración a filtro limpio, al inicio de la carrera. Es decir, si en este momento entra por el orificio A1 un caudal máximo  $q_0$  sale por el orificio B1 y por el vertedero C1 un caudal máximo igual a  $q_0$ . El nivel en el filtro 1 asciende desde su valor N5 hasta el valor N1 y el nivel en el canal de distribución desciende desde N3 hasta N7. Porque ahora el caudal de filtración ha aumentado, el nivel N5 en el canal de recolección también aumenta pero se desprecia por ser pequeña dicha variación de nivel para simplificar la descripción del fenómeno. Es decir, se supondrá que el nivel N5 permanece constante. El período comprendido en esta primera etapa del régimen transitorio puede ser llamado T1. Al final de este período T1 se obtiene la operación a filtro limpio inicial. A partir de este instante el filtro 1 adquiere su nivel mínimo de operación normal, el cual no es un nivel de equilibrio aún cuando así se le llame, pues

255.9-94AL-12242

el filtro 1 comienza a aumentar su nivel a partir de N5, pasa por N1 y termina en N2. Se define N1 como el nivel mínimo de operación normal. A partir de  $T = 0$ , el filtro 1 comienza su período normal de atarquinamiento y su nivel continúa ascendiendo por el aumento en las pérdidas de carga, hasta alcanzar su nivel máximo N2, que corresponde al final de su carrera. Se consideran nulas las pérdidas de carga en el orificio A1 y en el canal de distribución, durante la carrera de filtración del filtro 1.

Se alcanza varias veces el nivel N1 y el N2 cuando se lavan, en su momento, los otros filtros. Esta es una condición ideal que podría aceptarse como condición de diseño. Es decir, el diseño debe desarrollarse con pérdidas de carga pequeñas en los orificios A1 y en el canal de distribución. Si la carrera de un filtro es  $T_0$  y hay N filtros, el intervalo entre dos lavados consecutivos entre dos filtros diferentes es  $T_0/N$  y a este intervalo se le puede designar con el nombre de ciclo. Existen, pues, N ciclos. Durante un ciclo el caudal de salida de la planta es ligeramente variable entre un máximo y un mínimo. El valor promedio corresponde al caudal de entrada a la planta, el cual se supone constante. Dentro del ciclo, el tiempo que corresponde al caudal promedio se designa en este estudio con el símbolo  $T_p$ . Para  $T < T_p$  el caudal de salida de la planta es mayor que el promedio y este período es el siguiente al momento en que un filtro inicia su operación después de lavado. Se considerará ahora lo que sucede en los demás filtros durante este período  $T_p$ , incluyendo, además, el período  $T_i$ .

Cuando los filtros sucios representados por el filtro F2 están en el nivel N6 que corresponde al nivel N3, están filtrando un determinado caudal designado como el caudal  $Q_6$ .

Cuando se abre la compuerta A1 la caída de nivel de N3 a N7 es muy rápida. Se genera un régimen transitorio en el filtro F2: se disminuye la entrada de caudal por el orificio A2 a un valor menor que  $Q_6$  y por lo tanto el nivel del filtro F2 comienza a descender. Mientras en los filtros sucios el nivel N6 cae, el nivel en el filtro recién lavado aumenta. Es un resultado que no se ha tenido en cuenta en las formulaciones matemáticas. Durante el período  $T_p$  el caudal de salida de la planta es mayor que el promedio y los niveles tienen que descender. Descienden en los filtros más sucios, pero en el filtro recién lavado el nivel aumenta. No puede disminuir. Por lo tanto el filtro recién lavado no contribuye en este período inicial para  $T < T_p$ , a la disminución del volumen de agua almacenado en la planta, sino que por el contrario contribuye a aumentarlo. Este efecto debe tenerse en cuenta aplicando a la tasa de variación del nivel del agua,  $\delta h/\delta t$ , el signo correspondiente.

En un momento dado la altura de agua sobre cresta del vertedero de salida, dentro de un filtro, está dada por la ecuación siguiente:

$$h = KV + Ke Q^2 \quad (1)$$

En donde:

- h = Pérdida de carga en la filtración correspondiente al caudal filtrado Q.
- KV = Coeficiente de pérdidas laminares.
- Ke = Coeficiente de pérdidas turbulentas.
- Q = Caudal que pasa por el lecho filtrante.
- V = Velocidad de filtración

La derivada  $\delta h/\delta t$  que define la velocidad de ascenso o descenso del nivel de agua en el filtro, durante el proceso de filtración, no debe aplicarse indiscriminadamente a toda el área de filtración de la planta sino a parte de ella, pues, como se vió atrás, en el filtro

limpio el nivel de agua asciende mientras que en los sucios desciende. El valor  $\delta h/\delta t$  define el volumen de agua que se almacena o deja de almacenarse, según el caso, y para calcular dicho almacenamiento debe tenerse en cuenta dicha circunstancia.

Por otra parte el descenso del nivel N3 es normalmente demasiado rápido lo que da como resultado que el nivel N7 se sitúe por debajo del nivel N6 que desciende lentamente. En estas condiciones los filtros sucios F2 no sólo están filtrando sino que, además, están alimentando al canal de distribución a través de los orificios A. Este canal de distribución está alimentando a su vez al filtro limpio F1 cuyo nivel está ascendiendo en este proceso mientras que el nivel de los filtros sucios F2 desciende. En un instante dado, dentro del período inicial después del lavado de un filtro sucio, la derivada  $\delta h/\delta t$  no tiene el mismo valor para todos los filtros y por lo tanto no puede aplicarse al área total de la superficie filtrante de la planta para calcular el volumen almacenado. La ecuación de continuidad que debería usarse en un modelo matemático para calcular dichos volúmenes debería ser:

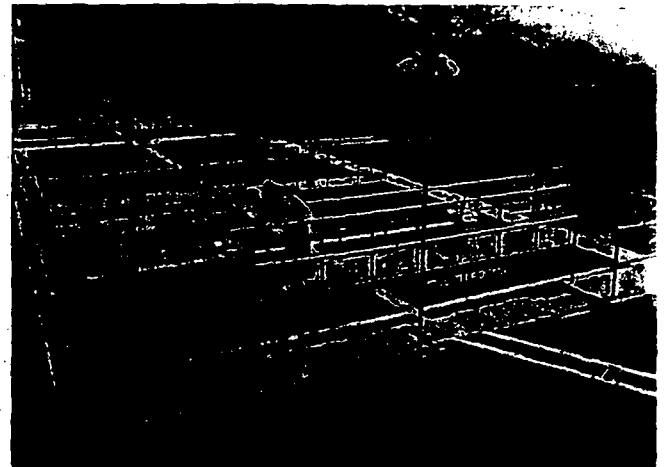
$$Q_0 = \sum Q + \sum \delta h A \delta t$$

En donde:

$Q_0$  = caudal de diseño de la planta.

A = área de cada uno de los filtros y del canal de distribución.

Al final del período  $T_p$  se llega a un momentáneo equilibrio de caudales para el cual el caudal de salida de la planta es igual al caudal de entrada. Al nivel correspondiente en los filtros se le ha llamado algunas veces nivel de equilibrio pero sería tal vez más apropiado llamárselo nivel mínimo de operación normal, o simplemente nivel mínimo, haciendo caso omiso de otros niveles mínimos que no tienen importancia desde el punto de vista del diseño, como serían por ejemplo los niveles mínimos que se obtienen al inicio de la operación de la planta cuando todavía no se ha alcanzado la operación normal a tasa declinante. A partir de este momento cesa el descenso del nivel en todos los filtros sucios y todos los niveles en todos los filtros ascienden simultáneamente. Si las pérdidas de carga en los orificios A y en el canal de distribución son muy pequeñas y por lo tanto despreciables, se puede afirmar, para los efectos del diseño, que toda la superficie del nivel del agua en todos los filtros actúa como una sola unidad que asciende a una velocidad igual a  $\delta h/\delta t$ . Se lava nuevamente otro filtro, el de mayor tiempo en operación, cuando el nivel máximo haya alcanzado el valor N6 (o el nivel N2 que es igual a N6).



La e  
en  
nmi  
por  
plan  
Univ  
el 6

Tab  
VAF  
Df  
PL  
Hora  
del  
6-11-

4:10  
4:11  
4:12  
4:13  
4:15  
4:17  
4:19  
4:30  
4:32  
4:40  
4:42  
4:45  
4:47  
4:52  
4:55  
4:59  
5:03  
5:06  
5:11  
5:13  
5:15  
5:18  
5:21  
5:26  
5:31  
5:38  
5:51  
6:00

Con  
anot  
1. A  
teni  
real  
parti  
2. A  
eser  
1 y  
con  
p.m.  
3. A  
tenc  
4. E  
perr  
peq  
5. L  
filtre

La explicación anterior es puramente teórica pero comprobada en sus delineamientos generales por las mediciones de los niveles, hechas en la planta de potabilización de Puerto Mallarino por los ingenieros Libardo Sánchez, Jefe de Operación de la planta, Edgar Quiroga y Antonio Castilla, profesores de la Universidad del Valle, y cuatro estudiantes de Ingeniería Sanitaria, el 6 de Marzo de 1986.

Tabla 1

**VARIACION DE LOS NIVELES DE LOS FILTROS 1, 2 Y 11 DURANTE Y DESPUES DEL LAVADO DEL FILTRO 11**

**PLANTA DE PUERTO MALLARINO, CALI - COLOMBIA**

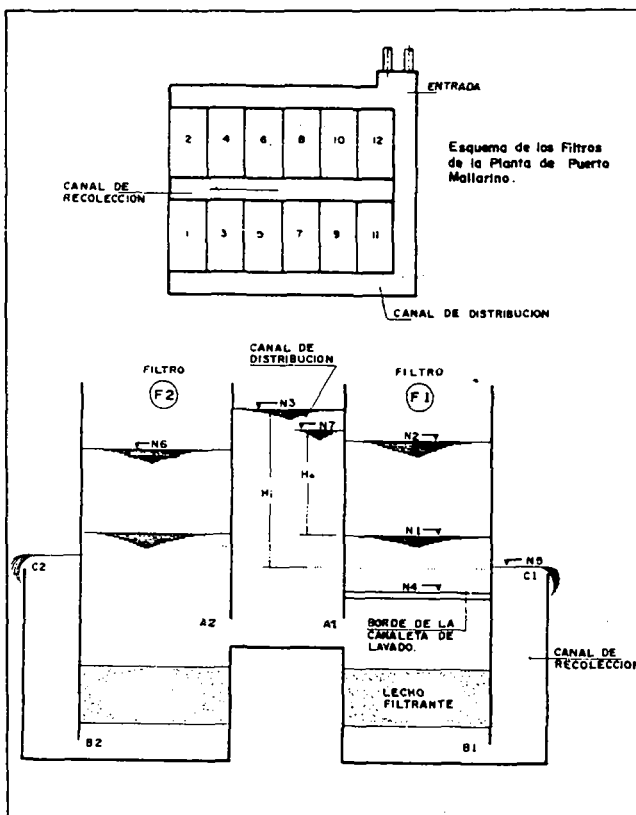
Horas del día 6-11-86	Filtro 1 m	Filtro 2 m	Filtro 11 m	Observaciones
4:10	3.705	3.535	3.855	-
4:11	-	-	-	Se cierra admisión F11
4:12	-	-	3.755	-
4:13	3.710	3.545	3.675	-
4:15	3.715	3.545	3.495	-
4:17	-	-	3.370	Se abre el desagüe
4:19	-	-	2.750	-
4:30	3.725	3.515	1.490	Se abre la admisión
4:32	3.695	3.515	1.700	-
4:40	3.675*	3.509*	2.750	-
4:42	3.675	3.509	3.370	-
4:45	3.675	3.509	3.445	-
4:47	-	-	3.460	-
4:52	3.680	3.509	3.475	-
4:55	3.680	3.509	3.475	-
4:59	-	-	3.475	-
5:03	3.680	3.509	3.475	-
5:06	3.680	3.509	3.475	-
5:11	3.680	3.510	3.475	-
5:13	-	-	3.485	-
5:16	3.685	3.510	3.480	-
5:18	-	-	3.480	-
5:21	3.695	3.515	3.485	-
5:26	3.685	3.515	3.485	-
5:31	-	-	3.485	-
5:38	-	-	3.485	-
5:51	-	-	3.490	-
6:00	3.695	3.515	3.495	-

Con respecto a la **Tabla 1** es interesante hacer las siguientes anotaciones:

1. A las 4:10 p.m. del día 6 de marzo de 1986 no todos los filtros tenían el mismo nivel. Este hecho muestra ya que las condiciones reales se apartan de las condiciones ideales, según cada caso particular.
2. A las 4:30 p.m. se abre la admisión del filtro F11 y a partir de ese momento su nivel empieza a ascender, mientras en los filtros 1 y 2 sus niveles descienden muy lentamente y siendo casi constantes. El filtro 1 varía su nivel entre las 4:30 p.m. y las 4:45 p.m. desde 3.725 hasta 3.675 m.
3. A partir de la hora 4:45 p.m. el filtro 1 muestra una pequeña tendencia a aumentar su nivel.
4. Entre las 4:40 p.m. y las 5:06 p.m. el nivel en el filtro 2 permanece constante y a partir de las 5:06 su nivel muestra una pequeña tendencia a aumentar.
5. Los niveles mínimos no tienen el mismo valor en todos los filtros, ni tampoco los niveles máximos.

**CONCLUSIONES**

- No se ha dicho todavía algo definitivo sobre la manera de determinar los niveles mínimos y máximos que alcanzan los niveles de los filtros como para que se recomiende un método específico para el diseño de un sistema de filtración a tasa declinante.
- El escogimiento de la metodología para ser usada en el diseño depende de la confianza que cada ingeniero tenga sobre la formulación adoptada y más que todo de su propia experiencia.
- El valor  $\delta h/\delta t$  en un instante dado tiene valores diferentes en cada filtro y en el canal de distribución. Después del instante  $T_p$  dicho valor puede considerarse igual para un instante dado, en los sitios anteriormente indicados si la pérdida de carga en la tubería de entrada a los filtros es muy pequeña.
- Debido al transbase de los filtros sucios hacia el recién lavado, a través del canal de distribución el caudal de salida de la planta es siempre ligeramente menor que el de entrada.



**Figura 1.** Esquema de un Sistema de Filtración. El filtro F2 representa a los filtros sucios, el filtro F1 es el filtro que se está lavando.

**REFERENCIAS**

ARBOLEDA, V. Jorge. "Teoría y Práctica de la Purificación del Agua". ACODAL. Bogotá, 1994.

DI BERNARDO, L. "Projeto Opercao de Sistemas de Filtracao com Taxa Declinante". Seminario Internacional. ACODAL, Sec. Valle del Cauca. Agosto 17, 1987.

CASTILLA, Ruiz A. "Una Ecuación para Filtración a Velocidad Declinante". Gaceta Ambiental. ACODAL, Sec. Valle del Cauca No. 4. Septiembre 1991.