



EVALUACION DE LA BATERÍA DE FILTROS DE TASA DECLINANTE Y LAVADO MUTUO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE MAHUARCAY

RESUMEN

La Planta de Tratamiento de Agua Potable Mahuarcaay es una de las tres Plantas que abastecen a la capital de la Provincia de Cañar. Esta planta fue diseñada para producir 100l/s. El presente estudio titulado “*Evaluación de la batería de filtros de tasa declinante y lavado mutuo de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Mahuarcaay*”, de la ciudad de Azogues, tiene por objetivo conocer las variables que afectan el problema de la colmatación en el lecho filtrante de los mismos. Para la evaluación en campo de las unidades de filtración se utilizaron procedimientos propuestos por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria CEPIS, contenido en el manual IV: Evaluación, Filtración Rápida. Tomo III: Procesos – Tecnología Convencional, las pruebas efectuadas fueron las siguientes: Velocidad de filtración, Velocidad de lavado, Duración del proceso de lavado, Bolas de barro, Calidad de filtrado inicial, Duración de las carreras de filtración, Expansión del lecho filtrante, Granulometría y espesor del lecho filtrante. Los resultados obtenidos fueron comparados con los parámetros de diseño y con lo recomendado por el CEPIS. Estableciéndose que la calidad inicial de agua producida en los filtros es menor



a 1 NTU. La carrera de filtración está en el límite inferior del rango señalado por el CEPIS. La expansión del medio es inferior en los filtros 1, 2, 3, 5 y 6, a lo establecido en el diseño y lo recomendado por el CEPIS. El tiempo óptimo de lavado es de 18 minutos. La velocidad de lavado es baja ocasionando poca expansión del lecho filtrante. El resultado granulométrico nos indica que el tamaño ó diámetro efectivo de la antracita de los filtros y el coeficiente de uniformidad no son los mismos en la mayoría de los filtros. El lecho filtrante de las unidades carece de bolas de barro. Las unidades de filtración presentan 5 cm menos de antracita a lo recomendado en el diseño. En general, todos los filtros presentan condiciones eficientes de operación, a excepción del filtro uno y filtro cinco que tienen condiciones buenas.

Palabras claves: Evaluación, filtros rápidos, CEPIS, agua potable, Mahuarcay.



INDICE GENERAL

CAPITULO I

INTRODUCCION.....11

CAPITULO II

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA DE TRATMIENTOMAHUARCAY

2.1 Generalidades y antecedentes de la planta de tratamiento de Mahuar cay.....15

2.2 Descripción de las unidades que componen la Planta de Tratamiento Mahuar cay.....19

 2.2.1 Descripción de la unidad de aforo.....19

 2.2.2 Descripción unidad de mezcla rápida de la Planta de Tratamiento.....22

 2.2.3 Descripción unidad de floculación de la Planta de Tratamiento.....24

 2.2.4 Descripción unidad de sedimentación de la Planta de Tratamiento.....27

 2.2.5 Descripción unidad de Filtración de la Planta de Tratamiento.....28

 2.2.6 Descripción de la Cámara de Contacto.....30

2.3 Ubicación de las instalaciones.....31

2.4 Diagrama de flujo del proceso de potabilización en la PTM.....31



CAPITULO III

TEORIA DE LA FILTRACION

3.1 Historia de la filtración.....	34
3.2 Definición.....	36
3.3 Mecanismo de filtración.....	37
3.4 Cinética de filtración.....	49
3.5 Factores que influyen en la filtración.....	54
3.6 Unidades de filtración.....	66

CAPITULO IV

FUNCIONAMIENTO DE LA BATERIA DE FILTROS

4.1 Parámetros de Diseño.....	72
4.2 Descripción del proceso de operación.....	75
4.3 Lavado superficial.....	90
4.4 Retrolavado.....	90
4.5 Limpieza y mantenimiento de unidades de filtración.....	94

CAPITULO V

PROCEDIMIENTOS PARA LA EVALUACIÓN DE LAS BATERÍAS DE FILTROS DE TASA DECLINANTE Y LAVADO MUTUO

5.1 Características de la unidad.....	97
5.1.1 Determinación de la operación de la batería con tasa declinante.....	97
5.1.2 Determinación para que la batería de filtros sea autolavable.....	99
5.2 Características del proceso de filtración	100
5.2.1 Velocidad y caudal de filtración.....	100
5.2.2 Calidad del filtrado inicial	102



5.2.3 Duración de las carreras de filtración.....104

5.3 Características del sistema de lavado105

5.3.1 Expansión del medio filtrante.....105

5.3.2 Duración del proceso de lavado107

5.3.3 Velocidad de lavado.....109

5.4 Características del medio filtrante.....110

5.4.1 Granulometría del medio filtrante.....111

5.4.2 Bolas de barro112

5.4.3 Espesor del medio filtrante.....114

CAPITULO VI

REQUISITOS DEL CEPIS

6.1 Características de la unidad.....117

6.1.1 Requisitos para la operación de la batería con tasa declinante.....117

6.1.2 Requisitos básicos para que la batería de filtros sea autolavable.....118

6.2 Características del proceso de filtración119

6.2.1 Velocidad y caudal de filtración.....119

6.2.2 Calidad del filtrado inicial120

6.2.3 Duración de las carreras de filtración.....120

6.3 Características del sistema de lavado121

6.3.1 Expansión del medio filtrante.....121

6.3.2 Duración del proceso de lavado121

6.3.3 Velocidad de lavado.....121

6.4 Características del medio filtrante.....121

6.4.1 Granulometría del medio filtrante.....121

6.4.2 Bolas de barro121

6.4.3 Espesor del medio filtrante.....123



CAPITULO VII

RESULTADOS OBTENIDOS DE LA EVALUACIÓN DE LAS BATERÍAS DE FILTROS DE TASA DECLINANTE Y LAVADO MUTUO

7.1 Características de la unidad.....	126
7.1.1 Determinación de la operación de la batería con tasa declinante.....	126
7.1.2 Determinación si la batería de filtros es autolavable.....	128
7.2 Características del proceso de filtración	129
7.2.1 Velocidad y caudal de filtración.....	129
7.2.2 Calidad del filtrado inicial	142
7.2.3 Duración de las carreras de filtración.....	149
7.3 Características del sistema de lavado	151
7.3.1 Expansión del medio filtrante.....	151
7.3.2 Duración del proceso de lavado	156
7.3.3 Velocidad de lavado.....	162
7.4 Características del medio filtrante.....	163
7.4.1 Granulometría del medio filtrante.....	163
7.4.2 Bolas de barro	172
7.4.3 Espesor del medio filtrante.....	176

CAPITULO VIII

ANALISIS DE RESULTADOS

8.1 Características de la unidad.....	179
8.1.1 Análisis de la operación de la batería con tasa declinante.....	179



8.1.2	Análisis de la batería de filtros para que sea autolavable.....	183
8.2	Características del proceso de filtración	183
8.2.1	Velocidad y caudal de filtración.....	184
8.2.2	Calidad del filtrado inicial	186
8.2.3	Duración de las carreras de filtración.....	188
8.3	Características del sistema de lavado	190
8.3.1	Expansión del medio filtrante.....	190
8.3.2	Duración del proceso de lavado	192
8.3.3	Velocidad de lavado.....	195
8.4	Características del medio filtrante.....	197
8.4.1	Granulometría del medio filtrante.....	197
8.4.2	Bolas de barro	200
8.4.3	Espesor del medio filtrante.....	202
8.5	Diagnostico General.....	205

CAPITULO IX.

OPORTUNIDADES DE PRODUCCIÓN MAS LIMPIA Y DE BUENAS PRACTICAS EN LA OPERACIÓN DE LOS FILTROS E INDICADORES DE DESEMPEÑO.

9.1	Disminución de la cantidad de los lavados de los filtros.....	209
9.1.1	Calidad del filtrado inicial.....	211
9.1.2	Carrera de filtración.....	214
9.1.3	Tiempo óptimo de lavado.....	217
9.1.4	Velocidad de lavado.....	222
9.1.5	Expansión del medio filtrante.....	224
9.2	Reducción del consumo de agua de lavado y de la producción de aguas residuales.....	229
9.3	Recirculación del agua de los filtros	234



9.4 Estudiar la posibilidad de utilizar el agua de los lavados de los filtros.....	236
9.5 Buenas prácticas para uso racional de agua.....	237
9.6 Indicadores de desempeño.....	238

CAPITULO X

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 Conclusiones.....	246
10.2 Recomendaciones.....	250

ANEXOS.....	253
BIBLIOGRAFIA.....	256
GLOSARIO.....	258



SIGLAS, SIMBOLOGIA Y ABREVIACIONES UTILIZADAS

a : Ancho, área de la sección transversal

A_F : Area de la caja del filtro

A_f : Área del lecho filtrante

C : Concentración

cm : Centímetro

cm^3 : Centímetro cúbico

CEPIS : Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria

C_u : Coeficiente de uniformidad

d : Diámetro de las partículas suspendidas

D : Diámetro de los granos del medio filtrante

D_{10} , (de): Diámetro efectivo

E : Expansión del medio filtrante

EMAPAL: Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Azogues

F : Filtro

F_i : Fuerza de inercia

Fig. : Figura

F_g : fuerza de gravedad

g : aceleración de la gravedad

H : Diferencia de nivel o altura vertical total

h : Pérdida de carga

hr : Hora



K : Constante de atracción de Van der Waals

Kg : Kilogramos masa

l : Litro

m : Metro

mm : Milimetro

mg : Miligramo

min. : Minuto

NTU, UNT : Unidades Nefelométricas de turbiedad

PTM : Planta de Tratamiento de Mahuarcay

Q : Caudal

r : Distancia entre la partícula y el grano

s : Segundo

T : Tiempo

TE : Tamaño efectivo o diámetro efectivo

Tf : Tiempo de filtrado

UC : Unidades de Color

: Velocidad

f : Velocidad de filtración

: Velocidad de lavado

V : Volumen

Vf : Volumen filtrado

V₀₀ : Velocidad de aproximación



V_i : Velocidad intersticial

ρ_a : densidad del agua

ρ_s : densidad de las partículas suspendidas

μ : viscosidad absoluta del agua

n : porosidad del medio filtrante

$^{\circ}\text{C}$: Grados Centígrados



“1.- Amarás al Agua como el bien más singular de nuestro hermoso Planeta Azul”

CAPITULO I



I. INTRODUCCION

La evaluación de la batería de filtros de tasa declinante y lavado mutuo de la planta de tratamiento de agua potable "Mahuarca" comprende un análisis detallado del funcionamiento y operación de cada una de las partes que físicamente la conforman, de su eficiencia y de la forma en que está siendo operada, controlada y mantenida.

Como resultado de la evaluación de los filtros, se obtendrá información valiosa que comprenderá la determinación de las condiciones para mejorar la eficiencia del sistema de filtración y desarrollar proyectos de optimización o ampliación.

La Planta de Tratamiento Mahuarca es una Planta convencional con operación a gravedad, integrada por: Coagulación, Floculación, Sedimentación, Filtración rápida y Desinfección, con edificaciones complementarias para almacenamiento y dosificación de químicos, laboratorios de control, sala de operación, así como vías de para circulación interna, jardines y espacios verdes.

Los filtros son las unidades más complejas de una planta de tratamiento de agua. Su correcta concepción depende de la interrelación que exista entre las características de la suspensión afluente y los rasgos del medio filtrante, para que



predominen los mecanismos de filtración apropiados que darán como resultado la máxima eficiencia posible. Las evaluaciones efectuadas de estas unidades en toda América Latina indican que es en este terreno que se suelen inscribir las deficiencias más notables en la concepción de los sistemas de tratamiento de agua potable.

Las unidades de filtración presentaron problemas de colmatación en el lecho filtrante a finales del año 2006, razón por la cual se cambiaron los medios filtrantes, en tal virtud el presente estudio especial titulado "Evaluación de la batería de filtros de tasa declinante y lavado mutuo de la planta de tratamiento de agua potable Mahuar cay" pretende investigar tal problema utilizando metodología del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria CEPIS.

Es importante señalar que recientemente se llevó a cabo una ampliación de la capacidad de los floculadores, por lo cual actualmente se está trabajando con un caudal de 130 l/s, superior al caudal de diseño que es de 100 l/s.

En este documento se han reunido y sintetizado los criterios más importantes para evaluar la operación y mantenimiento de la batería de filtros de tasa declinante y lavado mutuo.



Se propone la elaboración de una ficha de evaluación de la batería de filtros para que la EMAPAL (Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Azogues) responsable del sistema de potabilización lleve un archivo que facilite la obtención de esta información de manera detallada y ordenada en cualquier momento.



**“2.- No derrocharás
el Agua del Planeta
Azul en vano.”**

CAPITULO II



II. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO MAHUARCAY

2.1 GENERALIDADES Y ANTECEDENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUARCAY.

2.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

2.1.1.1 Nombre de la Planta. Planta de Tratamiento de Mahuarcay.



Fig. 1. Planta de Tratamiento de Agua Potable "Mahuarcay"

2.1.1.2. Ubicación de la Planta. Se encuentra al noreste de la ciudad de Azogues, a 2810 msnm y a unos 5Km del centro de la ciudad (sector poblado). Está situado en la comunidad de Mahuarcay (zona rural) y de ahí su nombre.



2.1.1.3. Tipo de Planta. Planta de tratamiento físico químico de filtración rápida.

2.1.1.4. Descripción del proceso contaminante. El proceso de la generación de lodos.

2.1.1.5. Tóxicos presente en la Planta. No se ha determinado hasta la fecha ningún toxico

2.1.1.6 Sustancias tóxicas potenciales que se encuentran en la Planta. Se puede mencionar al Sulfato de Aluminio y el Cloro gas.

2.1.2. HISTORIA DE LA PLANTA

2.1.2.1. Inicio de operación. La planta opera desde el 14 de febrero del 2005.

2.1.2.2. Eventos desde el inicio de operaciones. Ampliación de la capacidad de los floculadores.

2.1.2.3. Remediaciones en el sitio. Cambio de los lechos filtrantes.

2.1.3. INFORMACION DEMOGRAFICA

2.1.3.1. Características de la población más cercana. El total de la población en la zona de Mahuar cay donde se encuentra ubicada la Planta de Tratamiento es de



aproximadamente 80 personas, siendo el porcentaje de hombres y mujeres muy parecido. El 43 % de la población es menor de 14 años. La vivienda más próxima al área donde se ubican la Planta está a unos 200m. El nivel socioeconómico es bajo y el grupo étnico mayoritario es el campesino (zona rural).

2.1.3.2. Poblaciones de alto riesgo. Por estar la Planta ubicado lejos de las viviendas de ese sector se cree que no hay población en riesgo.

2.1.3.3. Ecosistemas de alto riesgo. Fauna y la flora que se encuentran en el agua y en la orilla de la Quebrada Mahuarca y que pasa junto a la planta de tratamiento que es el lugar donde se descarga los lodos.

2.1.3.4. Características de las viviendas de la zona. El patrón típico de vivienda de la zona de Mahuarca y es techo de lámina, paredes de adobe y piso de madera, mosaico o baldosa. No obstante, todavía existe una alta proporción de habitaciones con piso de tierra.

2.1.4. OROGRAFÍA

La zona de Mahuarca y está situada al pie de la montaña del Abuga (Fig. 2) cuya cima se encuentra a 3077 msnm.

Desde esta región son perfectamente visibles algunas de las cotas más representativas del Austro ecuatoriano.



Fig. 2. Planta de Tratamiento de Agua Potable "Mahuarcay"

2.1.5. HIDROLOGÍA

Los cursos de agua son pocos y de poco caudal. Los arroyos que surcan las tierras de esta zona, en su mayoría no son más que los cauces naturales de las aguas de las lluvias y los que tienen nacimientos propios, y algunos se secan en verano a excepción de la quebrada denominado Mahuarcay que tiene un caudal regular.

Todos ellos terminan por verter sus aguas en el río Tabacay, que luego van al río Burgay y posteriormente al gran colector del Austro que es el río Paute.

El agua cruda que llega a la Planta de tratamiento es captada y conducida desde aproximadamente 5Km al norte de la planta mediante canal abierto y unos 1.5Km por canal cerrado.



Fig. 3. Quebrada "Mahuarcay"

2.2 DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES QUE COMPONEN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUARCAY

Para la flexibilidad de operación con gastos variables la Planta de Tratamiento de Mahuarcay consta de dos módulos acoplados, según memorias de diseño para tratar un caudal nominal de 50 l/s cada módulo. El canal de ingreso, dosificación y mezcla rápida es común para los dos módulos.

A continuación se hará una descripción compresiva de las unidades que integran el sistema de potabilización en la Planta de Tratamiento Mahuarcay.

2.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE AFORO

Para la medición del caudal se emplea un caudalímetro electrónico, pero hay que mencionar que éste caudalímetro se



encuentra instalado en una de las dos tuberías que ingresa el agua a la planta y que esta tubería abastece un caudal de hasta aproximadamente 110 l/s, pero cuando opera la planta con caudales superiores a los 110 l/s es necesario abastecerse con la segunda tubería la misma que no dispone de caudalímetro (Fig. 4a), razón por la cual la medición de caudal en estos casos se realiza en el vertedero que es un canal en el cual está colocada una placa rectangular (Fig. 4b); el líquido represado alcanzará distintas alturas en función del caudal, esta altura se la mide en una regla que está debidamente calibrada (Fig. 4c); se relaciona esta altura por una ecuación que es dependiente del tipo de vertedero que para este caso es de tipo rectangular.



Fig. 4a Caudalímetro electrónico



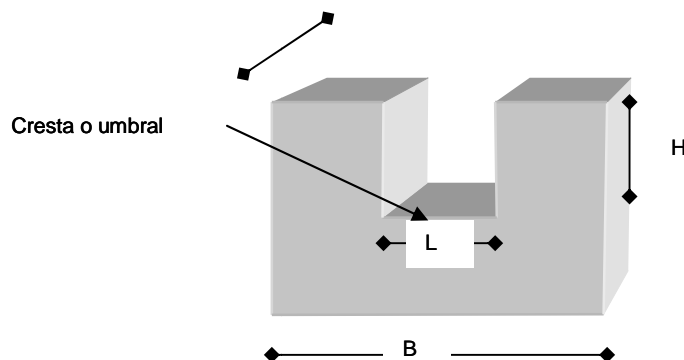
Fig. 4b Vertedero rectangular



Fig. 4c. Regla ubicada en el vertedero

El flujo se calcula con la fórmula de Francis:

Este vertedero tiene una contracción la cual produce con el



Formula de Francis:

$$Q = 1.84 \cdot (L - 0.2H) \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

Donde:

Q = descarga en m³/s

L = longitud de cresta en metros (m).

H = altura o diferencia vertical entre la cota de la coronación del vertedero y la cota de la superficie del agua, en metros (m).

B = ancho del vertedero

caudal un chorro



angosto y más acelerado que el flujo del canal.

El vertedero permite controlar y registrar la cantidad del agua que ingresa a la planta de tratamiento de Mahuarcay, mediante la determinación de la altura H en el punto de medición determinado en la entrada del vertedero rectangular, la misma que es transformada en caudal mediante una tabla existente en la planta de tratamiento, esta tabla esta calculada por la fórmula anterior.

2.2.2 DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE MEZCLA RÁPIDA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.

Esta unidad cuenta con una caja de entrada de flujo ascendente, cuyo propósito es atenuar la turbulencia de la masa de agua para alcanzar apropiadamente el vertedero rectangular ubicado en la coronación de la caja, en donde se mide el caudal a tratar.

El agua luego de pasar por el vertedero corre por unas gradas, generándose el resalto hidráulico en la base de la misma (Fig. 5a), punto en el que se aplica el coagulante. En esta unidad se realiza la mezcla completa del coagulante con el agua cruda.

El gradiente producido en el resalto al pie del vertedero, se aprovecha para producir en un tiempo corto la dispersión de la



solución del coagulante (2%), el coagulante empleado en la planta de tratamiento de Mahuarcay es el sulfato de aluminio, el cual se aplica en forma uniforme mediante una tubería perforada llamada flauta (Fig. 5b), alimentada por un dosificador de nivel constante y orificio variable, cuya posición se puede variar para optimizar la mezcla.

Se verifica que el sulfato de aluminio ingrese en forma uniforme, para asegurar esto se realiza una limpieza periódica de los orificios de la flauta, para que los distribuidores trabajen adecuadamente.



Fig. 5a Resalto hidráulico



Fig. 5b Flauta para dosificar sulfato de aluminio

Dentro de esta unidad de tratamiento denominada mezcla rápida se desarrolla la coagulación. La coagulación es resultado de dos fenómenos:

El primero, esencialmente químico, consiste en las reacciones del coagulante con el agua y la formación de especies



hidrolizadas con carga positiva. Este proceso depende de la concentración del coagulante y el pH final de la mezcla.

El segundo, fundamentalmente físico, consiste en el transporte de especies hidrolizadas para que hagan contacto con las impurezas del agua.

Este proceso es muy rápido, toma desde décimas de segundo hasta cerca de 100 segundos.

2.2.3 DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE FLOCULACIÓN

Una vez dispersado el coagulante, se induce una agitación lenta en el agua, que permita la aglomeración de las partículas desestabilizadas y de lugar al crecimiento del flóculo.

Ese crecimiento es el proceso de floculación que se produce en los floculadores por el contacto entre partículas. El término floculación se refiere a la aglomeración de partículas desestabilizadas para formar agregados floculentos; es el proceso por el cual, una vez desestabilizados los coloides, se provee una mezcla suave de las partículas para incrementar la tasa de encuentros o colisiones entre ellas sin romper o disturbar los agregados preformados. De la misma manera que la coagulación, la floculación es influenciada por fuerzas químicas y físicas tales como la carga eléctrica de las partículas, la capacidad de intercambio, el tamaño y la concentración del



flóculo, el pH, la temperatura del agua y la concentración de los electrolitos.

En la Planta de Mahuarcay luego de la mezcla rápida el agua es conducida por un canal que se divide en dos mediante una pared central. Estos canales conducen y reparten el agua para los dos módulos de la Planta, cada módulo tiene un floculador de tabiques de flujo horizontal.

El agua que circula por el canal izquierdo ingresa en el floculador 1 y su caudal se regula con una compuerta localizada en la entrada.

El agua del floculador 2 llega por el canal derecho y se regula por una compuerta ubicada en la entrada (Fig. 6a).

Como ya se mencionó cada módulo está integrado por un floculador hidráulico de tabiques de flujo horizontal, dividido en tres zonas (Fig. 6b), con gradiente de decreciente de 60, 30 y 20 s^{-1} y un tiempo de retención de 25 minutos, con tiempos parciales de 5, 10, 10, minutos respectivamente.



Cuadro 1. Datos técnicos de los floculadores

Zona	Tiempo parcial minutos		Gradiente medio G, s^{-1}			
(1) Inicial	5		60			
(2) Media	10		30			
(3) Final	10		20			
Total	25					
Datos	Floculador: Primera zona		Floculador: Segunda zona		Floculador: Tercera zona	
	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor
Caudal	m ³ /s	0.05	m ³ /s	0.05	m ³ /s	0.05
Tiempo	min	5	min	10	min	10
Velocidad	m/s	0.22	m/s	0.14	m/s	0.12
Calado	m	0.6	m	0.6	m	0.6
Longitud, tabique	m	2.4	m	2.4	m	2.4
Espesor tabique	m	0.05	m	0.05	m	0.05
Longitud total	m	66	m	84	m	72
Sección	m ²	0.227	m ²	0.357	m ²	0.416
Ancho del canal	m	0.378	m	0.595	m	0.694
Ancho del tanque	M	2.96	M	3.29	M	3.44
Número de canales	N	22	N	25	N	21
Largo del tanque	m	9.48	m	16.4	m	15.52
Número de tabiques	N	21	N	24	N	20



Fig. 6a Compuerta que regula el ingreso de agua a los floculadores



Fig. 6b Floculador hidráulico de flujo horizontal

2.2.4 DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE SEDIMENTACIÓN

Cada módulo de la planta de tratamiento de Mahuarcay tiene dos unidades de sedimentadores de placas paralelas, de flujo ascendente, es decir la Planta cuenta con ocho secciones de sedimentación. Los sedimentadores se los ha proyectado de flujo laminar, compuestas de placas paralelas (2.4x1.20m, $e=0.008\text{m}$); separación de 6cm, inclinación 60° . Se dispone de dos "corridos" de placas para cada unidad. La zona de sedimentación cubre un espacio de 2.4x5.0m.

Según memorias técnicas para el diseño de la planta se escogió una carga superficial baja de $120 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{-d}$, que representa condiciones adecuadas para los flóculos de bajo peso y velocidad de sedimentación.



Cada sección de sedimentación cuenta con cinco tubos perforados que recolectan el agua sedimentada, con separación de 0.83 m, entre ejes, cada tubo tiene 17 orificios de 1" con separación de 13 cm entre ejes; tiene 55 placas, a excepción de la última sección que solamente tiene 48 placas.

Para el almacenamiento temporal de lodos se ha diseñado una tolva continua, con inclinación de paredes de 60°. La extracción de los lodos se realiza por descarga controlada mediante válvulas de acción manual, estos lodos circulan a la cámara de evacuación para luego fluir hacia los desagües generales.

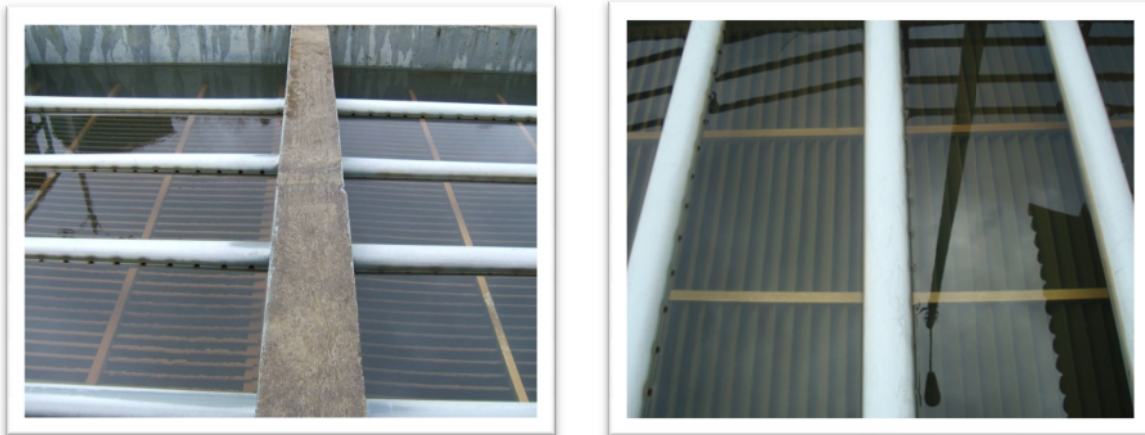


Fig. 7. Sedimentador de placas paralelas de flujo ascendente

2.2.5 DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE FILTRACIÓN

La planta de tratamiento de Mahuarcay tiene dos baterías de filtros con cuatro unidades de filtración cada una, del tipo denominados filtros hidráulicos de lecho dual antracita-arena,



operación a rata declinante, lavado (mutuo) con flujo procedente de las otras unidades, es decir la Planta cuenta en total con ocho filtros.

El área filtrante se ha dividido en dos secciones por medio de la estructura que evacua el agua de lavado por la parte superior y permite la recolección de agua filtrada y la entrada del agua de lavado por la parte inferior mediante dos difusores con orificios colocados debajo del fondo falso. Esta disposición permite una recolección uniforme del agua filtrada y el ingreso también uniforme del agua de lavado. El fondo falso está conformado con viguetas prefabricadas en forma de "V invertida".

La concepción en dos baterías de filtros, cada uno compuesto de cuatro unidades, garantiza el lavado de un filtro, siempre que el caudal de la planta sea igual o superior al 50% del caudal nominal.

El presente estudio por estar enfocado en la evaluación de los filtros, indicará en forma más detallada varios criterios de importancia de los mismos en los acápite posteriores.



Fig. 8 Batería de filtros

2.2.6 DESCRIPCIÓN DE LA CÁMARA DE CONTACTO

La cámara de contacto tiene como función asegurar un tiempo de contacto fijo entre el agua y el desinfectante, de tal modo de asegurar la remoción de bacterias, virus y parásitos presentes en el agua.

La desinfección en la planta se realiza mediante la aplicación de cloro. Se emplea cloro líquido en cilindros a presión de una tonelada, esta operación se realiza mediante dosificadores al vacío y una alimentación del desinfectante en solución, la inyección se realiza en una zona de elevado gradiente de velocidad para que se produzca una dispersión instantánea y uniforme en toda la masa, inmediatamente antes de la cámara de contacto.



Luego de la dispersión de la solución desinfectante el agua tratada ingresa a la cámara de contacto, formada por tabiques de flujo horizontal con un tiempo de contacto de 10 minutos, con condiciones que garantiza una eficiencia óptima del desinfectante.



Fig. 9. Punto de inyección de cloro en la cámara de contacto

2.3 UBICACIÓN DE LAS INSTALACIONES

En el anexo 1 se muestra un esquema de la ubicación de las unidades de tratamiento en la Planta Potabilizadora de Mahuarcay.

2.4 DIAGRAMA DEL PROCESO DE POTABILIZACION EN LA PTM

En la figura 10 se esquematiza en un diagrama de bloques el proceso de potabilización que se lleva a cabo en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay.

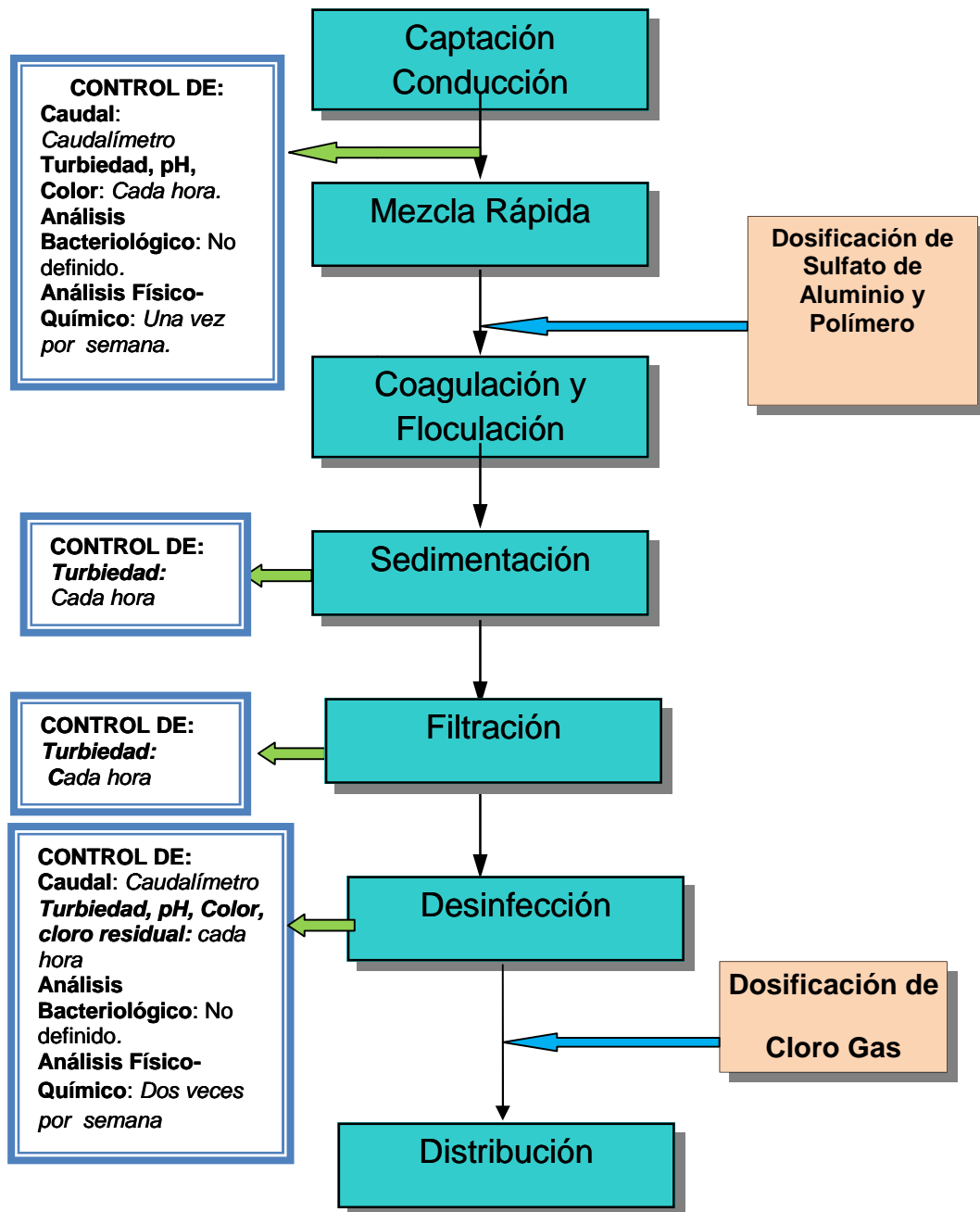


Fig. 10. Diagrama de bloques del proceso de potabilización en la PTM.



*3.- “Respetarás los
ríos y sus cauces,
porque ellos
guardarán tesoros de
vida, belleza y
armonía que te fueron
confiados”*

CAPITULO III



III. TEORIA DE LA FILTRACION

3.1 HISTORIA DE LA FILTRACIÓN

El uso de la filtración en el tratamiento de agua no es reciente, teniendo noticias de que la primera instalación de filtración en arena fue construida en el siglo XIX, en Inglaterra. Este tipo de instalación funcionaba con tasas de filtración inferiores a $4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$; y por necesitar de un área relativamente extensa, no obtuvo éxito en los Estados Unidos donde en cambio se desarrollaron los filtros rápidos de arena a finales del siglo XIX. Estas últimas instalaciones filtraban agua sometida preliminarmente a las operaciones de coagulación, floculación y sedimentación, y funcionaban con tasa constante e igual a $120 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$.

Los primeros diseños de filtros rápidos aparecieron en Norteamérica a mediados del siglo pasado, bajo patente; los cuales fueron llamados filtros mecánicos o americanos, en contraposición a los filtros ingleses.

El primer filtro rápido lo construyó Smith Hyatt en 1855 en la ciudad de Somerville. La gran innovación fue la limpieza del lecho filtrante, pues en lugar de hacerse raspando la capa superior del mismo, el cual era un sistema largo y costoso, se



hacía invirtiendo el sentido del flujo, donde en el proceso de filtrado era de arriba hacia abajo y en el lavado de abajo hacia arriba. Esto facilitaba la operación casi continua del flujo.

Hasta 1950 muy poco se había alterado en la práctica de filtración, siendo consideradas dos condiciones para el cierre de la carrera de filtración: (1) que la carga hidráulica disponible se utilizará totalmente; y (2) que la turbidez, o la concentración de sólidos en el agua filtrada, alcanzara un valor predeterminado.

La operación ideal era aquella en que las dos condiciones ocurrían simultáneamente. Más tarde con la necesidad del aumento de la tasa de filtración, el tiempo de funcionamiento de los filtros entre lavados sucesivos disminuyó a la misma carga hidráulica disponible, lo que indicaba que era necesario efectuar cambios en el medio filtrante para que se mantuviera la duración de las carreras de filtraciones en condiciones anteriores.

Mucho se ha investigado sobre los sistemas de filtración con tasa declinante se remonta a finales de la década de los 70, cuando "Cleasby" introduce algunas reformas en sistemas de filtración de tasa constante en plantas municipales (China, Estados Unidos).



3.2 DEFINICIÓN

La filtración es la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso. En general la filtración es la operación final que se realiza en una planta de tratamiento de agua potable y por consiguiente, es la responsable principal de la producción de agua de calidad coincidente con los patrones de potabilidad.

El proceso de filtración revisado en este trabajo se usa principalmente para remocionar materia particulada del agua. La filtración es uno de los procesos unitarios usados en la producción del agua potable. Las partículas remocionadas por aquellos procesos pueden estar presentes en el agua de origen o pueden generarse durante los procesos de tratamiento. Los ejemplos de partículas incluyen las partículas de arcillas y fango, microorganismos (bacterias, virus y quistes protozoicos), sustancias coloidales y precipitados húmicos y otras partículas naturales orgánicas, procedentes del deterioro de la vegetación; precipitados de aluminio utilizados en coagulación.



3.3 MECANISMO DE FILTRACIÓN

Como las fuerzas que mantienen a las partículas removidas de la suspensión adheridas a las superficies de los granos del medio filtrante son activas para distancias relativamente pequeñas, la filtración es usualmente considerada como el resultado de dos mecanismos distintos, pero complementarios: Transporte y adherencia.

Inicialmente, las partículas a removerse son transportadas de la suspensión a la superficie de los granos del medio filtrante. Ellas permanecerán adheridas a los granos, siempre que resistan la acción de las fuerzas de corte debidas a las condiciones hidrodinámicas del escurrimiento.

El transporte de partículas es un fenómeno físico e hidráulico, afectado principalmente, por los parámetros que gobiernan la transferencia de la masa e incluye los mecanismos de Impacto Inercial, Intercepción, Sedimentación, Difusión.

La adherencia entre partículas y granos es básicamente un fenómeno que está gobernado principalmente por las características de las superficies de las partículas suspendidas y de los granos.



3.3.1 Mecanismos de Transporte

La mayor parte de los trabajos realizados con el objeto de verificar los factores que influencien el transporte de las partículas, destacan la diferencia que existe entre la filtración de acción superficial y la profundidad. En el primer caso, la formación de un manto de partículas removidas está localizada encima de las primeras capas del medio filtrante, es responsable de aproximadamente el 90% de la pérdida de carga total, mientras que, en el segundo caso, la penetración de partículas es profunda, produciéndose una distribución de pérdidas de carga en todo el medio filtrante. La acción física de cernido es un mecanismo dominante en la filtración de acción superficial, mientras que, en la filtración de acción a profundidad, este mecanismo es el de menor importancia entre otros responsables por el transporte de las partículas.

(a) Impacto Inercial

Durante el escurrimiento, las líneas de corriente divergen al estar cerca de los granos del medio filtrante, de modo que las partículas suspendidas, con cantidad de movimiento suficiente para mantener su trayectoria, colisionan con los granos, según se muestra en la figura N° 11

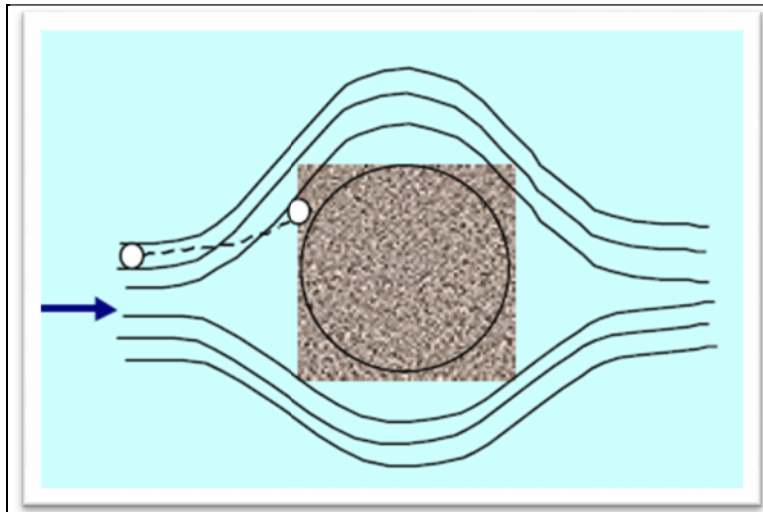


Fig. 11 Mecanismo de Impacto Inercial

Para caracterizar la eficiencia de este mecanismo fueron propuestos dos modelos matemáticos:

$$\text{-----} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{--- ---} \dots\dots\dots (2)$$

donde:

η = parámetro adimensional que representa la eficiencia del mecanismo

s = densidad de las partículas suspendidas (ML^{-3})

d = diámetro de las partículas suspendidas (L)

D = diámetro de los granos del medio filtrante (L)

v_{00} = velocidad de aproximación (LT^{-1})

μ = viscosidad absoluta del agua ($\text{ML}^{-1}\text{T}^{-1}$)



F_i = fuerza de inercia (MLT^{-2})

F_g = fuerza de gravedad (MLT^{-2})

v_i = velocidad intersticial (LT^{-1})

g = aceleración de la gravedad (LT^{-2})

Las ecuaciones (1) y (2) tienen en común que la eficiencia del mecanismo depende del tamaño de los granos y de la velocidad de aproximación, ya que la velocidad intersticial es igual a la de aproximación dividida por la porosidad media del medio filtrante.

El efecto del impacto inercial es despreciable cuando se consideran partículas suspendidas de un tamaño comprendido entre 0,01 y 0,10 μm y de densidad entre 1,00 y 2,65 Kg/m^3 cuando el régimen de escurrimiento es laminar.

(b) Intercepción

Normalmente, el régimen de escurrimiento durante la filtración es laminar, y por lo tanto, las partículas se mueven a lo largo de las líneas de corriente.

Debido a que las partículas suspendidas tienen densidad aproximadamente igual a la del agua, ellas serán removidas de la suspensión cuando, con relación a la superficie de los granos del medio filtrante, las líneas de corriente están a una distancia

menor que la mitad del diámetro de las partículas suspendidas, como lo muestra la figura N° 12.

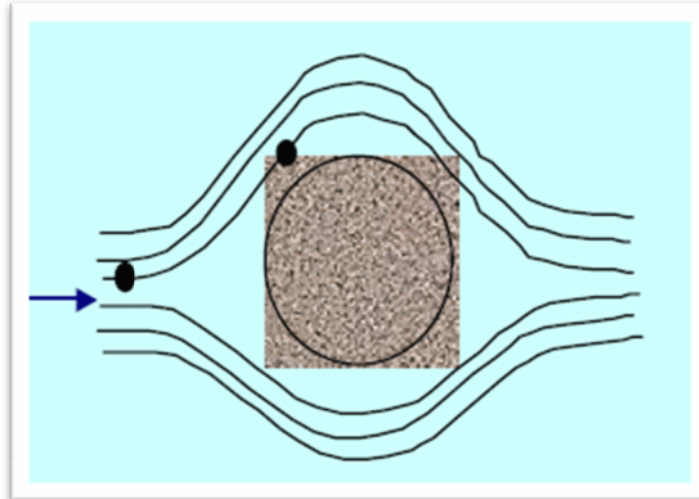


Fig. N°12 Mecanismo de Intercepción

La ecuación (3), propuesta por Ives, fue desarrollada para partículas suspendidas y granos del medio filtrante de forma esférica.

$$- \dots(3)$$

donde:

l = parámetro adimensional de intercepción

d = diámetro de las partículas suspendidas (L)

D = diámetro de los granos del medio filtrante (L)

(c) Sedimentación

El efecto de la gravedad sobre las partículas suspendidas durante la filtración fue sugerido hace más de 70 años, cuando



Hazen consideró los poros de los filtros lentos de arena como pequeñas unidades de sedimentación. Sin embargo, la contribución de este mecanismo fue considerada despreciable por mucho tiempo, pues la velocidad de sedimentación de las partículas suspendidas y, especialmente, la de los pequeños flóculos, es mucho más pequeña en comparación con la velocidad intersticial.

La velocidad de sedimentación de las partículas puede calcularse por la ecuación de Stokes, representada por la siguiente ecuación:

$$\text{-----} \dots\dots\dots (4)$$

v_s = velocidad de sedimentación de las partículas (LT^{-1})

ρ_s = densidad de las partículas (ML^{-3})

ρ_a = densidad del agua (ML^{-3})

d = diámetro de las partículas (L)

μ = viscosidad absoluta del agua ($ML^{-1}T^{-1}$)

g = aceleración de la gravedad (LT^{-2})

Para $g=9,8 \text{ m/s}^2$, $\rho_a = 1000 \text{ kg/m}^3$; $\mu = 10^{-3} \text{ kg/m/s}$ y partículas de arcilla suspendida de $d = 10 \text{ }\mu\text{m}$ y $\rho_p = 2.500 \text{ Kg/m}^3$, v_s resulta aproximadamente igual a $0,1 \text{ mm/s}$.

El análisis del escurrimiento alrededor de una esfera muestra que la velocidad tangencial decrece hasta hacerse cero en la superficie del grano.

La figura N°13 muestra el esquema del mecanismo de sedimentación, resaltando la acción de la gravedad sobre la partícula suspendida.

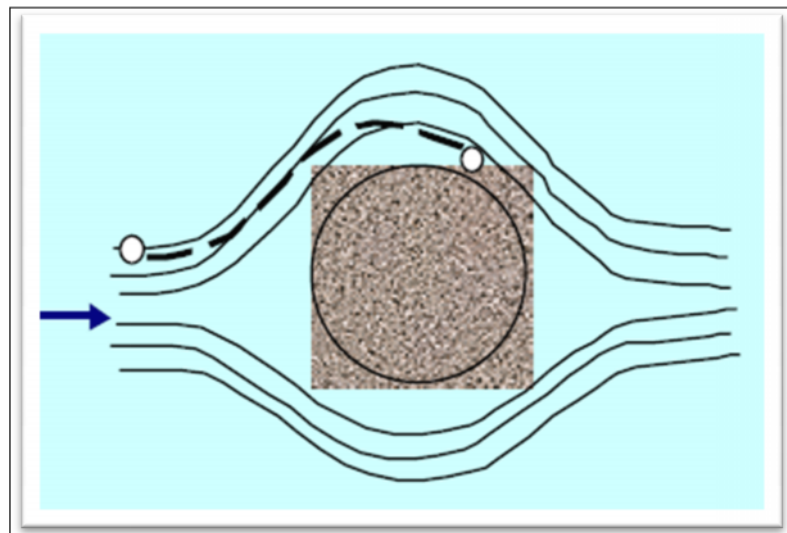


Fig. N° 13. Mecanismo de Sedimentación

(d) Difusión

Se ha observado que las partículas relativamente pequeñas presentan un movimiento errático cuando se encuentran suspendidas en un medio líquido.

Este fenómeno, resultado de un bombardeo intenso a las partículas suspendidas por las moléculas de agua, es conocido como movimiento Browniano y es debido al aumento de la energía termodinámica y a la disminución de la viscosidad del agua.

El movimiento de partículas mayores que $1 \mu\text{m}$ es afectado por la fuerza de arrastre y de inercia de las mismas, y por lo tanto, la intensidad del movimiento de difusión resulta inversamente proporcional al tamaño de las partículas suspendidas.

La figura N° 14 muestra, esquemáticamente, como se produce el transporte de partículas por el mecanismo de difusión.

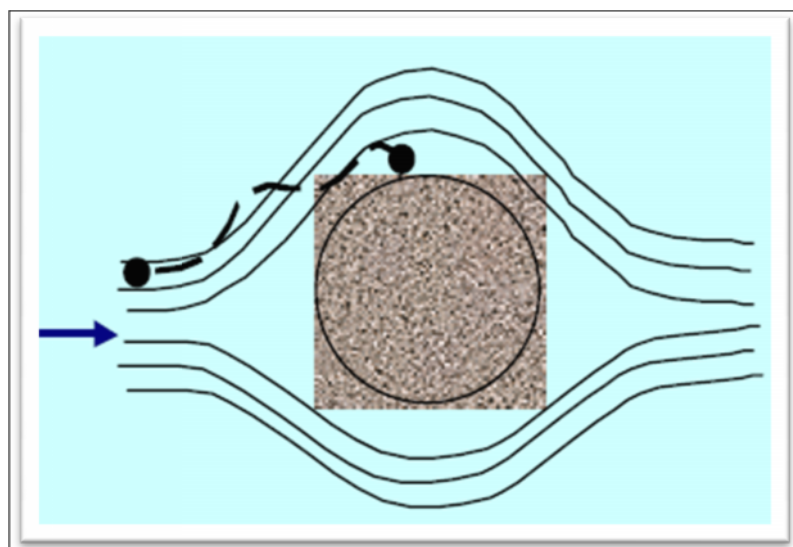


Fig. N° 14. Mecanismo de Difusión



e) Cernido

Es evidente que cuando la partícula es de tamaño mayor que los poros del lecho filtrante, puede quedar atrapado en los intersticios, cuyo tamaño suele variar entre 0.1 y 0.2mm para granos de 0.5mm, y entre 0.3 y 0.6 mm para los de 1.2mm, dado que el floc grande puede tener de 0.5 a 2.0mm de diámetro. El cernido actúa solo en las capas más superficiales del lecho (Fig. 15) y con partículas fuertes capaces de resistir los esfuerzos cortantes producidos por el flujo.

Hall considera que la probabilidad de cernido P_r de una partícula es directamente proporcional a su diámetro e inversamente proporcional al diámetro del grano del medio filtrante D_c , elevado a los $3/2$.

$$— \dots\dots\dots(5)$$

Donde:

d = diámetro de la partícula

D_c = diámetro del medio filtrante

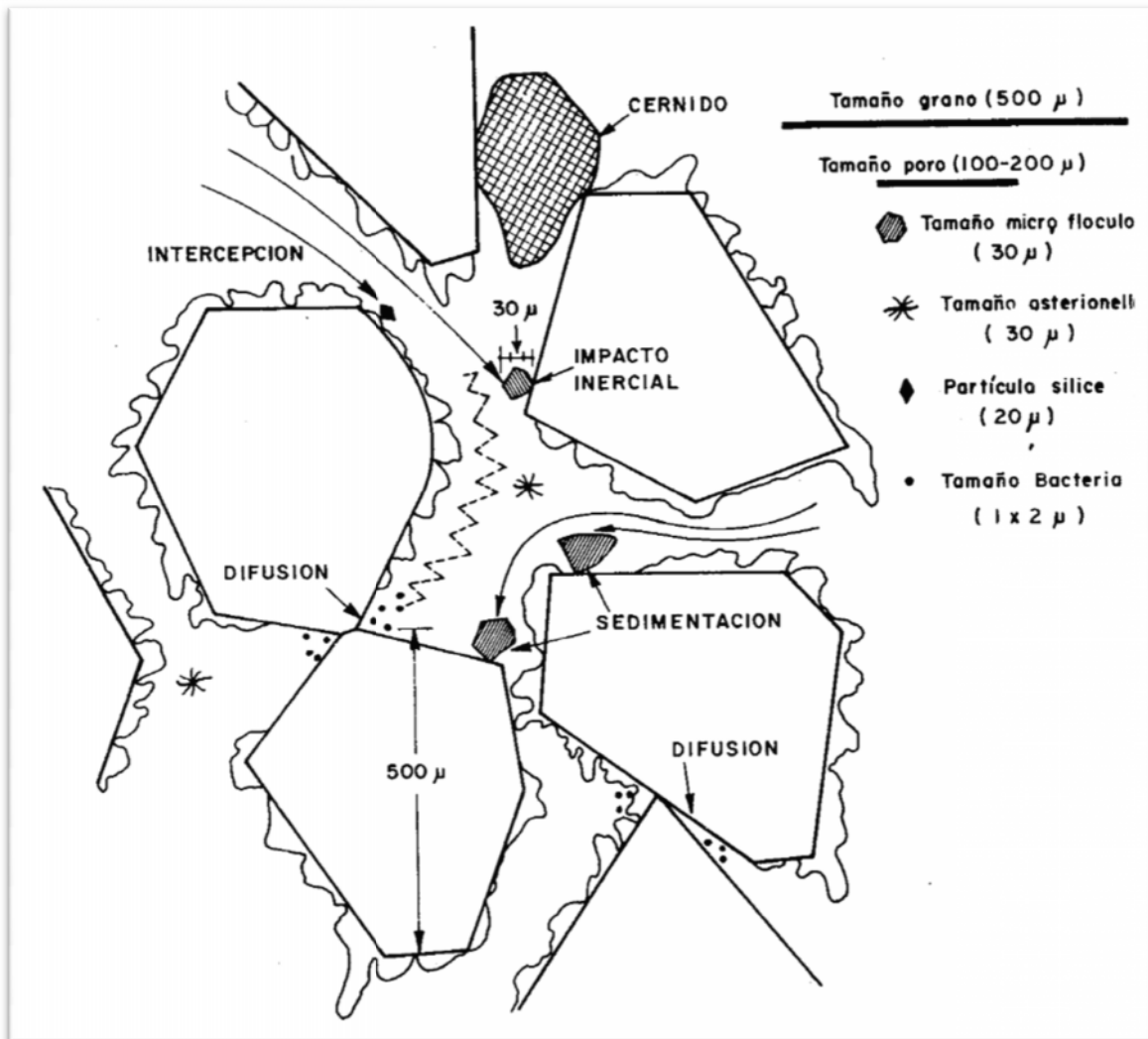


Fig. 15. Diferentes mecanismos que producen transporte de las partículas hasta los granos de un medio filtrante

3.3.2 Mecanismos de adherencia

La adherencia se atribuye a dos tipos de fenómenos: interacción entre las fuerzas eléctricas y las de Van der Waals, y al enlace químico entre las partículas y la superficie de los granos de un material intermediario.



a) Fuerzas de Van der Waals

Estas fuerzas son las responsables de la adhesión de las partículas a los granos del filtro. Estas fuerzas pueden determinarse mediante la siguiente fórmula:

$$\text{---} \dots\dots (6)$$

K = constante de atracción de Van der Waals

d_p = diámetro de la partícula

r = distancia entre la partícula y el grano

Las Fuerzas de Van der Waals se incrementa con la densidad de las partículas, de manera que el floc más denso se adhiere con mas fuerza al medio filtrante.

b) Fuerzas electrostáticas

Pueden darse dos casos:

-Los granos del medio filtrante son negativos y los floc son positivos, en este caso existe una fuerza atractiva entre el medio y las partículas, lo que hace que la sola aproximación de éstas a los granos del lecho, pueda producir atracción y adhesión.

-Los granos del medio filtrante son negativos mientras los floc o partículas son neutros, en este caso la barrera de energía



desaparece y todo contacto se puede esperar que termine en adhesión.

c) Enlace químico entre las partículas y la superficie de los granos

Las cadenas poliméricas adheridas a las partículas dejan sus segmentos extendidos en el agua, los que pueden ser adsorbidos por otras partículas o por sitios vacantes en los granos del filtro. Este fenómeno es independiente de las fuerzas de Van der Waals y de las cargas electrostáticas.

El uso de ayudantes de filtración o polielectrolitos inyectados en el afluente al filtro puede, por eso, ser de gran utilidad para aumentar la adhesión de la materia suspendida al medio filtrante.

Las partículas con sus segmentos poliméricos adheridos, al atravesar las constricciones del medio filtrante, se enlazan con los segmentos sueltos adsorbidos por los granos o por los de partículas ya adheridas al lecho filtrante y quedan en esta forma retenidas (Fig. 16).

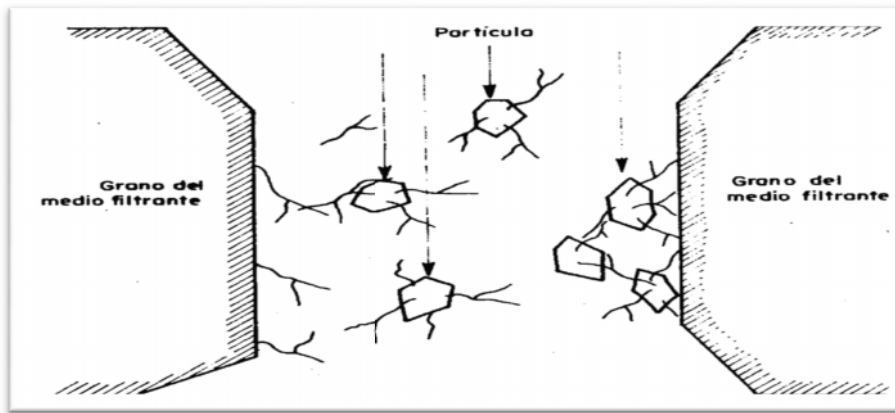


Fig. 16. Esquema explicativo de la acción del polímero en un medio granular.

3.4 CINÉTICA DE LA FILTRACIÓN

A pesar del extenso conocimiento de los mecanismos de la filtración, no se ha podido llegar a encontrar un modelo matemático que describa con precisión el comportamiento de los diferentes parámetros de operación de los filtros. No existe, hasta ahora, ninguna fórmula o conjunto de fórmulas con las cuales, asumidos determinados valores, se puedan calcular los diferentes parámetros que inciden en el funcionamiento de un filtro.

Debido a esta dificultad se ha determinado los parámetros del proceso de filtración experimentalmente realizando estudios con filtros piloto. Se ha recurrido a modelos matemáticos que

resultan útiles para la mejor comprensión del proceso de filtración.

Balance de masas

El balance de masas tiene una doble finalidad en el análisis de la filtración.

En primer lugar, conjuntamente con la ecuación que describe la remoción de partículas suspendidas, permite determinar la distribución de los depósitos en el medio filtrante en función de la posición y del tiempo. En segundo lugar, el balance de masas conduce a una expresión que hace posible conocer la cantidad de sólidos removidos por unidad de volumen del medio filtrante.

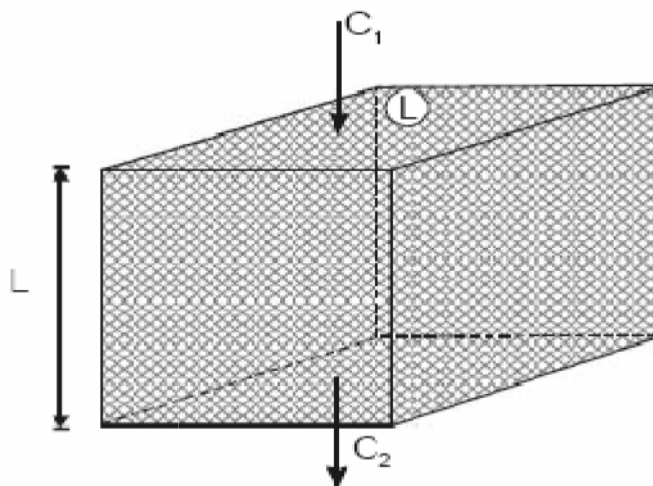


Figura 17. Elemento del lecho filtrante



La figura 17 representa un elemento del medio filtrante de área A y espesor

ΔL . La variación de la concentración de la suspensión está dada por:

$$\Delta C = C_1 - C_2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

Donde:

ΔC = Variación de la concentración de partículas (volumen de partículas suspendidas por volumen de suspensión).

C_1 = Concentración de partículas suspendidas en el afluente (L^3/L^3).

C_2 = Concentración de partículas suspendidas en el efluente (L^3/L^3).

Si se considera que Q es el caudal que escurre a través del elemento y se admite que el depósito específico aumenta una cantidad $\Delta\delta$, al transcurrir un intervalo del tiempo Δt , se tiene que el volumen de partículas removidas de la suspensión es:

$$V = -\Delta C \cdot Q \cdot \Delta t \quad \dots\dots\dots (8)$$

y el volumen de partículas acumuladas es:

$$V = -\Delta\delta_a \cdot A \cdot \Delta L \quad \dots\dots\dots (9)$$

Igualando ambas expresiones, se obtiene:

$$-\Delta C \cdot Q \cdot \Delta t = -\Delta\delta_a \cdot A \cdot \Delta L \quad \dots\dots\dots (10)$$



Donde:

$Q =$ caudal ($L^3 T^{-1}$)

$t =$ intervalo de tiempo (T)

$\Delta\delta_a =$ variación del depósito específico absoluto (volumen de sólidos/volumen de medio filtrante, L^3/L^3)

$A =$ área, en planta, del elemento de volumen del medio filtrante (L)

$L =$ espesor del elemento de volumen del medio filtrante (L)

Reordenando la ecuación (10) se obtiene, en su forma diferencial, la siguiente ecuación:

— — 0 (11)

Donde:

$V =$ velocidad de filtración o tasa de filtración (Q/A)

La ecuación (11) representa la relación entre la variación de la concentración de partículas suspendidas con la profundidad, y la variación del depósito específico absoluto con el tiempo, para la velocidad de filtración considerada.

Muchas veces se considera al depósito específico efectivo (δ), que refleja el volumen que efectivamente ocupan las partículas



removidas, para tener en cuenta de ese modo la porosidad de los depósitos.

$$\delta = \dots \cdot \delta_a \dots \dots \dots (12)$$

Donde:

δ = Depósito específico absoluto (volumen de depósito/volumen de medio filtrante).

= Relación entre el volumen de los depósitos y el volumen de sólidos removidos.

De este modo, la porosidad local estará dada por:

$$= \dots - \delta \dots \dots \dots (13)$$

Donde:

\dots = porosidad inicial (volumen de vacíos/volumen total del medio filtrante)

= porosidad del medio filtrante

De la combinación de las ecuaciones (11) y (12) se obtiene:

$$\dots \dots \dots (14)$$



La ecuación (14) representa la variación de la concentración en función del espesor del medio filtrante y demuestra que la tasa de variación disminuye a medida que el depósito específico aumenta con el tiempo de operación del filtro.

Combinando las ecuaciones (13) y (14), se obtiene:

— — — (15)

La ecuación (15) muestra que la tasa de variación de la concentración de la suspensión, en función del espesor del medio filtrante, disminuye a medida que la porosidad decrece con el tiempo de operación.

3.5 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FILTRACIÓN

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

3.5.1 Características de la suspensión

La eficiencia de la remoción de las partículas de partículas suspendidas en un medio filtrante, está relacionada con las siguientes características de la suspensión:

- Tipo de partículas suspendidas;



- Tamaño de las partículas suspendidas;
- Densidad de las partículas suspendidas;
- Resistencia o dureza de las partículas suspendidas (flóculos);
- Temperatura del agua a ser filtrada;
- Concentración de partículas en el afluente;
- Potencial Zeta de la suspensión; y
- pH del afluente.

(a) Tipo de Partículas Suspendidas

La filtración de flóculos que no sedimentan en una planta de ablandamiento difiere sustancialmente del caso en que se tienen flóculos provenientes de pretratamiento con una sal de hierro o aluminio. Por otro lado, el tipo de partículas primarias presentes en el agua cruda influye en la eficiencia de la filtración. Por ejemplo, la existencia de algas en el afluente a los filtros de una instalación de filtración directa, influye en la formación de curvas de pérdida de carga más acentuadas que aquellas en que el afluente solo posee partículas suspendidas coaguladas de arcilla o sílice.

(b) Tamaño de las Partículas Suspendidas

Existe un tamaño crítico de partículas suspendidas, del orden de 1 μm , para el cual se tiene menos oportunidad de contacto



entre la partícula suspendida y el grano del medio filtrante. Este hecho se puede observar desde el principio cuando el medio filtrante está limpio, hasta el final de la carrera de filtración.

Algunos productos químicos, como los coagulantes tradicionales y polímeros, pueden usarse para ajustar el tamaño de las partículas suspendidas de modo de obtener una eficiencia mayor. Las partículas menores que el tamaño crítico serán removidas eficientemente debido, principalmente, a la difusión; mientras que las mayores también serán removidas eficientemente debido a la acción de otros mecanismos, como la interceptación y sedimentación.

(c) Densidad de las Partículas Suspendidas

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

(d) Resistencia o Dureza de los Flóculos

La dureza de los flóculos es otro factor importante en la filtración rápida, pues los flóculos débiles tienden a fragmentarse y penetrar fácilmente en el interior del medio filtrante, favoreciendo que ocurra el traspase final de la turbidez



límite, mientras que los flóculos duros o resistentes no se fragmentan fácilmente, pero producen una pérdida de carga mayor.

(e) Temperatura

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

(f) Concentración de Partículas Suspendidas

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



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

(g) Potencial Z

Cuando las partículas suspendidas y los granos del medio filtrante tienen potencial Z del mismo signo, la interacción entre las capas dificulta la adherencia, reduciendo la eficiencia de remoción. Como los materiales filtrantes usuales presentan potenciales Z negativas, sería conveniente que las partículas suspendidas tuviesen potencial Z neutro o positivo.

(h) pH

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



3.5.2 Características del Medio Filtrante

Las características del medio filtrante es otro factor importante que influye en la filtración, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

- Tipo del medio filtrante.
- Características granulométricas del material filtrante
- El peso específico del material filtrante
- Espesor del lecho filtrante.

(a) Tipo de Medio Filtrante

El tipo de medio filtrante debe seleccionarse basándose en la calidad que se desea para el agua filtrada. Adicionalmente, también debe tenerse en cuenta, la duración de la carrera de filtración y la facilidad de lavado. Un medio filtrante ideal es aquel de una determinada granulometría y granos de un cierto peso específico, que requiere una cantidad mínima de agua para ser lavado específicamente y que es capaz de remover la mayor cantidad posible de partículas suspendidas, produciendo un efluente de buena calidad.



(b) Características granulométricas del material filtrante

Los materiales filtrantes se especifican sobre la base de por lo menos cuatro características:

1. Tamaño efectivo (T_e): en relación al porcentaje (en peso) que pasa por las mallas de una serie granulométrica, el tamaño efectivo se refiere al tamaño de granos correspondiente al porcentaje de 10 %.
2. Coeficiente de uniformidad (C_u): con relación al porcentaje (en peso) que pasa por las mallas de una serie granulométrica, el coeficiente de uniformidad es igual a la relación entre el tamaño de los granos correspondiente al 60% y el tamaño de los granos correspondiente al 10%.
3. Forma: la forma de los granos normalmente se evalúa en función del coeficiente de esfericidad (C_e), que es igual a la relación entre el diámetro de una esfera, de velocidad de sedimentación igual a la del grano considerado, y el tamaño medio de los granos entre dos mallas consecutivas de la serie granulométrica, entre las que se preparó el medio filtrante.



4. Peso específico (Pe): el peso específico del material es igual al peso de los granos dividido por el volumen efectivo que ocupa los granos.

Estas cuatro características son muy importantes para especificar los materiales que componen un medio filtrante de dos o más capas.

(c) El peso específico del material filtrante

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

El cuadro 2 se muestra valores normales para el coeficiente de esfericidad y peso específico de los materiales filtrantes más usuales.

Cuadro 2. Valores normales de materiales filtrantes

Material	Material Coeficiente de esfericidad	Peso específico (g/cm ³)
Arena	0,75-0,80	2,65 -2,67
Antracita	0,70 - 0,75	1,50 - 1,70
Granate	0,75 - 0,85	4,00 - 4,20



(d) Espesor de las Capas Filtrantes

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

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

3.5.3 Características hidráulicas

Las características hidráulicas que influyen en la eficiencia de la filtración son: la tasa de filtración, la carga hidráulica disponible.



(a) Tasa de Filtración

El empleo de tasas de filtración bajas no asegura, necesariamente, la producción de agua filtrada de mejor calidad y mayor volumen de agua producida por carrera de filtración.

La figura 18 muestra la variación de la turbiedad durante una carrera de filtración para diferentes tasas, en filtros de antracita y arena, utilizando agua decantada, después de coagulada y floculada con sulfato de aluminio y cal, como afluente. Se observa que la calidad del efluente no es afectada sustancialmente por una tasa de filtración entre 300 y 480 m³/m²/día.

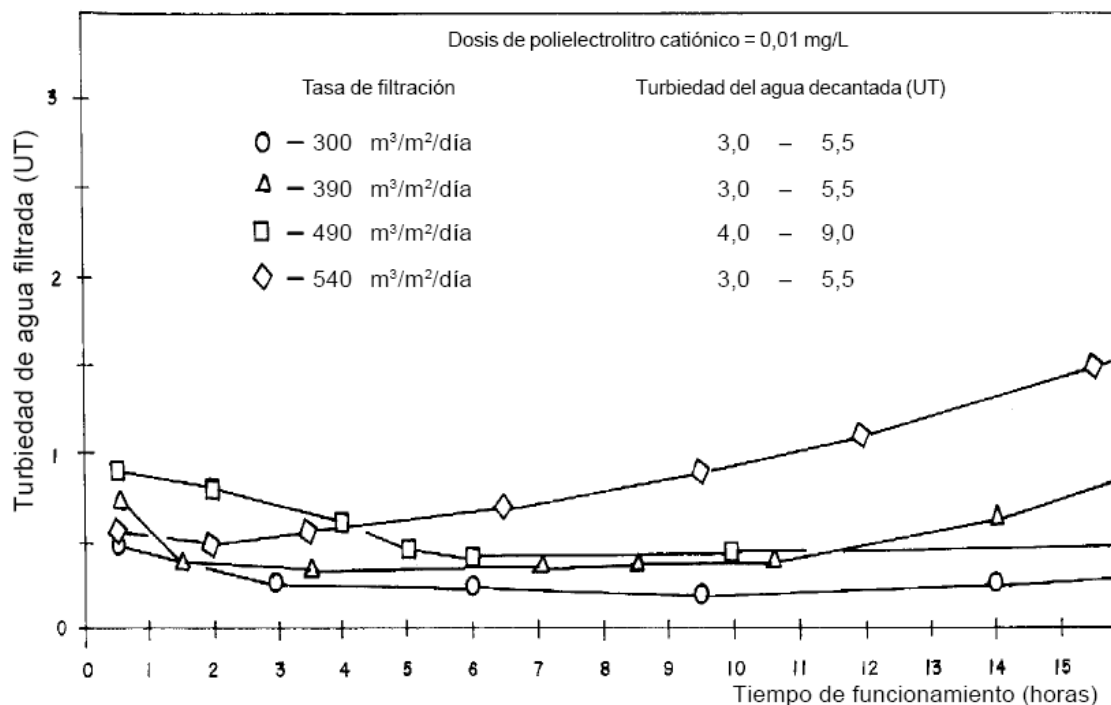


Figura 18. Influencia de la tasa de filtración en la calidad del agua filtrada



Las variaciones de velocidad durante una carrera de filtración son muchas veces inevitables y pueden afectar sustancialmente la calidad del efluente.

(b) Carga Hidráulica Disponible

La carga hidráulica a fijarse en un filtro influye significativamente en la duración de la carrera de filtración. Este parámetro es empírico y normalmente es seleccionado por el proyectista. Sin embargo, estudios muestran que los filtros de tasa declinante producen carreras de filtración más largas que los de tasa constante para una misma pérdida de carga en el medio filtrante y la misma tasa de filtración promedio. Esto significa que los filtros de tasa constante necesitarían de una carga hidráulica disponible superior a los de tasa declinante para obtener carreras de filtración de la misma duración.

Por otro lado, fijar la carga hidráulica con la que un filtro o un sistema de filtración deben operar, depende de otros factores, como el espesor y granulometría del medio filtrante, aspectos económicos, etc.

(c) Calidad del Efluente

La calidad del efluente está relacionada con diversas características inherentes al filtro propiamente dicho, al uso a



que se destina el agua filtrada, y a la existencia de una operación eficiente. Los patrones de potabilidad varían entre los diversos países, por lo tanto, de un modo general, la turbidez del efluente no debe superar a 5 NTU y preferentemente, no ser mayor a 1 NTU. Se aconseja que el agua filtrada no presente color, por lo tanto se toleran valores inferiores a 5 UC. Desde el punto de vista bacteriológico, los filtros constituyen una barrera sanitaria a los microorganismos, obteniéndose una eficiencia de remoción superior al 99%.

Es usual obtener agua filtrada que presente las condiciones antes mencionadas a través de filtros de capa única de arena y de dos o más capas. Sin embargo, la calidad del agua filtrada no es constante desde inicio hasta el final de la carrera de filtración. La Figura N° 19 muestra la variación de la calidad del agua filtrada después de que el filtro recién lavado entró en operación.

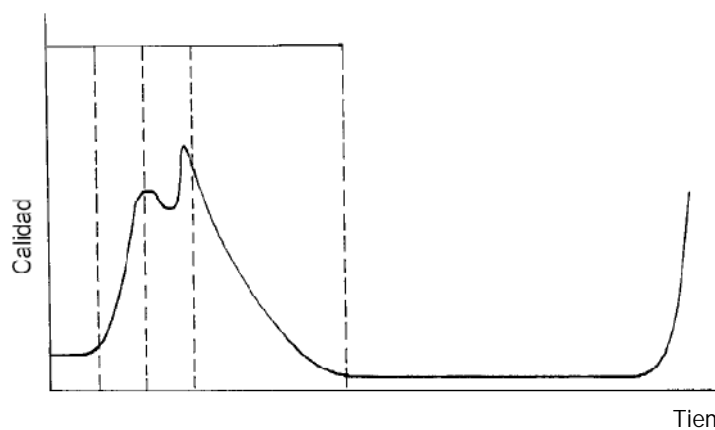


Fig. 19. Variación de la calidad del efluente durante la carrera de filtración



3.6 UNIDADES DE FILTRACIÓN

En la filtración del agua potable, se utilizan diferentes tipos de filtros y pueden describirse, según varios esquemas de clasificación:

- Según el tipo de medio filtrante
- Por la depresión hidráulica empleada
- Según el sentido del flujo
- Por la tasa de filtración
- Según el método de control operacional.

3.6.1 Según el tipo de medio filtrante

a) Filtros de lecho simple

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

b) Filtros de lecho múltiple

La solución lógica al problema de los filtros de lecho simple consiste en conseguir que la permeabilidad del lecho disminuya



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

3.6.2 Por la depresión hidráulica empleada

Los filtros también pueden describirse por la depresión hidráulica empleada para pasar el agua a través del medio filtrante.

- a) Filtros a gravedad: Los filtros a gravedad están abiertos a la atmósfera, y el flujo a través del medio se consigue por gravedad.
- b) Filtros a presión: Los filtros a presión utilizan una vasija o recipiente a presión para contener el medio filtrante. El agua se entrega a la vasija bajo presión y abandona la vasija a una presión ligeramente más reducida.



3.6.3 Según el sentido del flujo

a) Filtración ascendente

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

Aunque en la filtración ascendente de agua decantada las carreras de filtración resultan más largas si se las compara con la filtración descendente en lecho de arena, la carga hidráulica necesaria aguas arriba de los filtros y el mayor espesor de la capa han limitado mucho el uso de la filtración ascendente.

b) Filtración descendente

Este tipo de unidades es el que normalmente se prefiere diseñar en los sistemas de abastecimiento públicos.

Su mayor simplicidad garantiza una adecuada operación.

3.6.4 Por la tasa de filtración

Los filtros también pueden definirse por la tasa de filtrado, que es la tasa de caudal por unidad de área. Entre estos tenemos los filtros rápidos y los filtros lentos.



a) Filtros Lentos: La velocidad del pasaje del agua a través del lecho filtrante es de 0.15 a 0.20 m/h o ($m^3/m^2.h$).

Aplicables a pequeñas poblaciones tipo rural. Se aplica un criterio económico una gran superficie de terreno. Se puede usar hasta poblaciones de 10000 habitantes si la calidad del agua lo permite.

La utilización de un filtro lento depende del costo económico y la calidad del agua a tratar.

Puede realizarse sin previa decantación y coagulación. Las algas y microorganismos que quedan retenidas en el manto de arena segregan diastapas, que coagulan las materias coloidales (sobre la superficie del lecho filtrante). Se producen una capa biológica llamada Zooglea, que tardan dos a tres días en formarse (maduración del filtro) y es la que produce la filtración de las partículas en estado coloidal que lleva el agua. Después de un mes, aproximadamente la capa superficial que se formó provoca una gran resistencia al pasaje del agua por lo que es necesario proceder a su limpieza que se realiza eliminando la capa superficial de arena (2 cm) que es retirada y se lava aparte en unos conos. En el cono se inyecta agua en contracorriente a una presión.

Una vez retirada la capa de arena se pone en servicio nuevamente y la capa se vuelve a formar. El filtro lento sólo no



debe operar con aguas con turbiedades mayores a 20 ó 30 NTU, esporádicamente se pueden aceptar picos de 50 a 100 NTU.

b) Filtros rápidos: La velocidad de filtración es muy superior a la de filtración lenta varia (3.5-12.5 m/h) o 80 a 300 m³/m²/d. No tienen la misma eficiencia que el lento, sobre todo desde el punto de vista Bacteriológico. Se necesita mayor cuidado en la desinfección, el agua que se trata en un filtro rápido debe estar previamente coagulada, floculada y sedimentada.

Hay dos tipos de filtros rápidos:

1. Tipo americano
2. Tipo Europeo

1. El americano produce la filtración en superficie. Arena de grano fino en la superficie con un aumento gradual en la arena de arriba hacia abajo. El espesor de la capa filtrante de los primeros centímetros es donde se produce la colmatación de la capa de arena. El lavado se realiza de abajo hacia arriba.
2. El europeo, usa mantos de arena de mayor espesor con granulometría mayor que la del tipo americano y más homogénea. El lavado se realiza con agua y aire de abajo hacia arriba. Se lo denomina filtro Aquazur.



4.- “Honrarás a nuestro padre Océano y a nuestra madre Fuente, porque fuiste engendrado en su seno.”

CAPITULO IV



IV. FUNCIONAMIENTO DE LA BATERIA DE FILTROS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO "MAHUARCAY"

4.1 PARAMETROS DE DISEÑO

Con el estudio anteriormente descrito podemos decir que la Planta de Tratamiento de Mahuarca y es una Planta de filtración rápida, con dos baterías de filtros rápidos de cuatro unidades cada uno, con operación a gravedad, de lecho dual antracita-arena, tasa declinante y lavado mutuo.

Las actuales unidades de filtración fueron construidas a finales de 2004 y entraron en operación el 14 de febrero del 2005.

Los parámetros de diseño contenidos en la memoria técnica del proyecto de construcción de la Planta de tratamiento de Mahuarca y son los siguientes:

➤ Características de los filtros

- Flujo de agua tratada por batería: 50 l/s
- Dimensiones del filtro: 3,40m x 2,00m
- Area de cada unidad: 6.80 m²
- Area de lecho filtrante: 4.80 m²
- Tasa de filtración: 225 m³/m²/d



· Velocidad de retrolavado: $900 \text{ m}^3/\text{m}^2 /\text{d}$

➤ Lecho de soporte

Cuadro 3. Material: Grava

	ALTURA (cm)	TAMAÑOS (mm)		d_{gm} (mm)
		RETIENE	PASA	
SUPERIOR	7,5	1,70	3,20	2,3
	7,5	3,20	6,40	4,5
	7,5	6,40	12,70	9,0
	7,5	12,70	25,40	18,0
FONDO total	10,0	25,40	50,00	35,6
	40,0			

Coeficiente de esfericidad $\Psi = 0,8$

Porosidad inicial $\varepsilon = 0,38$

➤ Lecho filtrante Arena- Antracita

Cuadro 4. Material Arena

	ALTURA (cm)	TAMAÑOS (mm)		d_{gm} (mm)
		RETIENE	PASA	
SUPERIOR	4,45	0,42	0,59	0,498
	3,80	0,59	0,71	0,647
	5,36	0,71	0,84	0,772
	3,32	0,84	1,00	0,917
FONDO	1,91	1,00	1,19	1,091
	1,17	1,19	1,41	1,295
total	20			



Diámetro efectivo	$D_{10} = 0.50$
Coefficiente de uniformidad	$C_u = 1.60$
Coefficiente de esfericidad	$\Psi = 0,81$
Porosidad inicial	$\varepsilon = 0,38$
Masa específica	$\rho = 2650 \text{ Kg/m}^3$

Cuadro 5. Material: Antracita

	ALTURA (cm)	TAMAÑOS (mm)		d_{gm} (mm)
		RETIENE	PASA	
SUPERIOR	1,36	0,59	0,71	0,647
	2,33	0,71	0,84	0,772
	3,83	0,84	1,00	0,917
	6,07	1,00	1,19	1,091
FONDO	11,98	1,19	1,41	1,295
	18,58	1,41	1,68	1,539
	5,86	1,68	2,00	1,833
total	50,0			

Diámetro efectivo	$D_{10} = 0.90$
Coefficiente de uniformidad	$C_u = 1.60$
Coefficiente de esfericidad	$\Psi = 0,54$
Porosidad inicial	$\varepsilon = 0,480$
Masa específica	$\rho = 1650 \text{ Kg/m}^3$

4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS FILTROS Y DEL PROCESO DE OPERACIÓN

4.2.1 Principales componentes de los filtros.

1) Caja del filtro. Es la parte más importante de la unidad (Fig. 20). La caja de filtro consta del fondo hacia arriba de: falso fondo, drenaje del tipo de viguetas prefabricadas de concreto, la capa soporte de grava, el lecho filtrante arena-antracita, el canal de lavado, que recibe el agua del retrolavado.

Por encima de este nivel se ubican las cargas de agua necesarias para el funcionamiento de la batería (carga hidráulica para el lavado y carga hidráulica para el proceso de filtrado).



Fig. 20a. Caja de filtro cuando se cambió el lecho filtrante

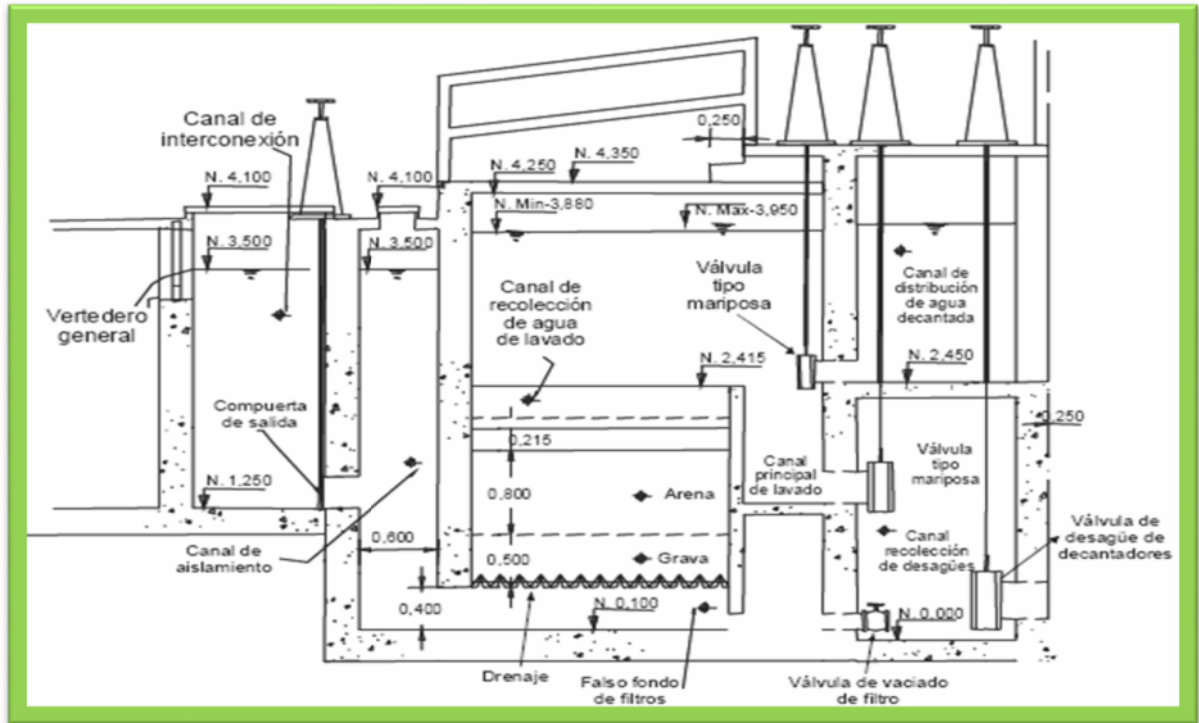


Fig. 20. Caja del filtro

2) Tubería de distribución de agua decantada. Alimenta las cajas de los filtros a través de las válvulas de entrada de cada unidad (Fig. 21). En la parte superior de este canal se ubica el vertedero que limita la carga hidráulica máxima disponible para la operación con tasa declinante de la batería de filtros, así como la marca que indica que se debe lavar el filtro correspondiente.



Fig. 21 Tubería que ingresa agua al filtro

3) Canal de desagüe de agua de retrolavado. Ubicado debajo del anterior, recibe el agua del retrolavado de los filtros (Fig. 22a). Frente a este canal se reúnen los desagües de los decantadores, constituyendo en conjunto el canal emisor de la planta (Fig. 22b).



Fig. 22a. Canal de desagüe de retrolavado



Fig. 22b. Canal emisor de la planta

4) Canal de aislamiento. Recibe este nombre porque tiene la función de aislar una unidad del resto de la batería, cerrando la válvula de entrada y la válvula de salida que comunica con el canal de interconexión (Fig. 23). Este canal se localiza contiguo a la caja del filtro y se comunica con ella a través del canal del falso fondo en toda su sección, lo cual permite una distribución pareja del agua de lavado a todo lo ancho del drenaje. (Anexo2)

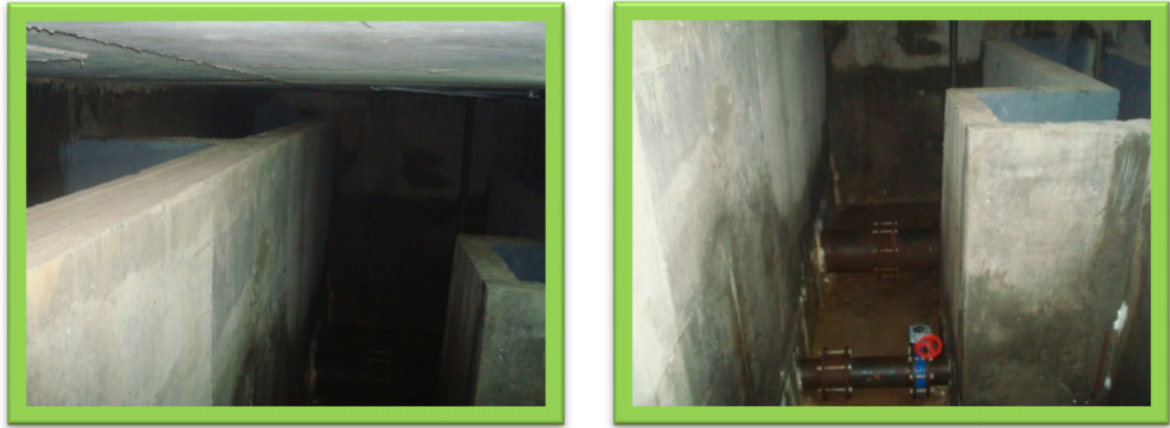


Fig. 23. Izquierda: Canal de aislamiento, derecha: vertedero

5) Canal de interconexión de la batería. Cumple dos funciones importantes:

Durante la operación normal de filtración, reunir el efluente de todos los filtros y sacarlo a través de un vertedero a la cámara de contacto (Fig. 24a), y durante la operación de lavado de una unidad, baja el nivel del agua por debajo del vertedero de salida, por lo existe una tubería de 400mm que deriva automáticamente el agua filtrada producida por las otras unidades en operación (por lo menos tres) hacia el canal de aislamiento y luego al filtro que se encuentra en posición de lavado.

La figura 24b muestra la vista en planta de la batería de cuatro filtros y la cámara de cloración a continuación.



Fig.24a. Canal de interconexión

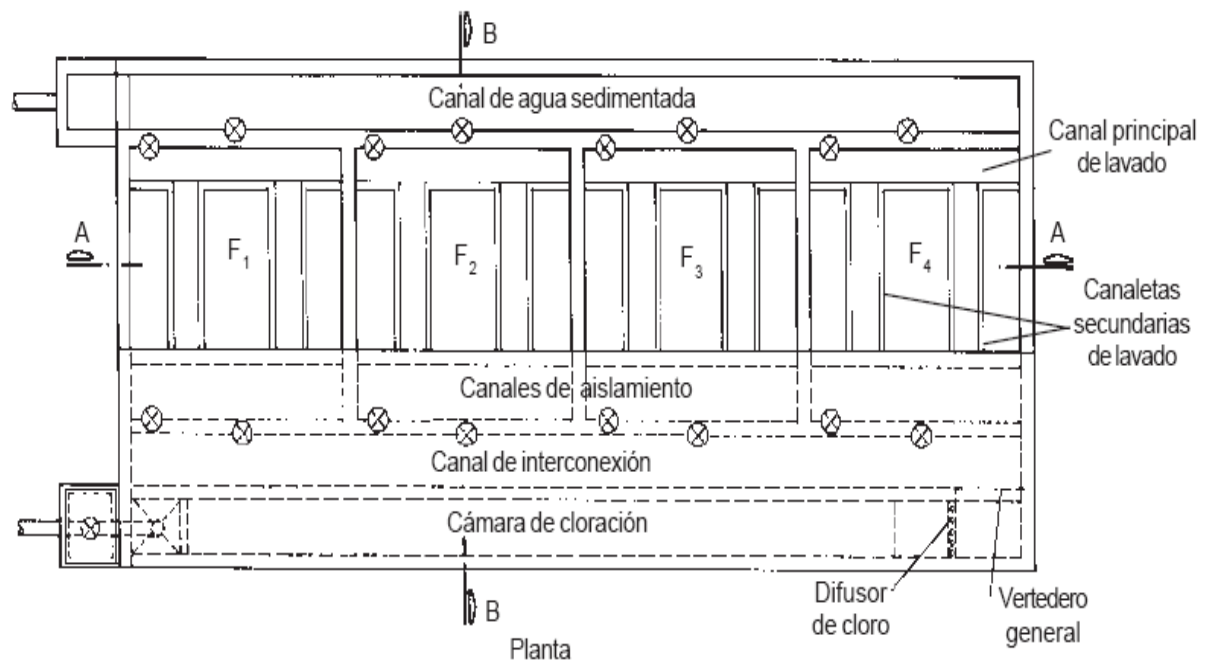


Fig. 24. Imagen superior: Canal de interconexión de la batería de filtros en la PTM

6) Lecho filtrante

Dentro de la caja del filtro se encuentra el lecho filtrante (Fig. 25) que realmente es la parte más importante de esta unidad, donde se realiza el proceso. Todos los demás componentes son accesorios para poder operar y mantener adecuadamente la unidad.

El lecho filtrante es doble; esto es, de arena y antracita, las características se mostraron en los cuadros 4 y 5.

Las tasas de filtración, en el caso de lecho de arena-antracita, tienen un promedio de $225 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$.

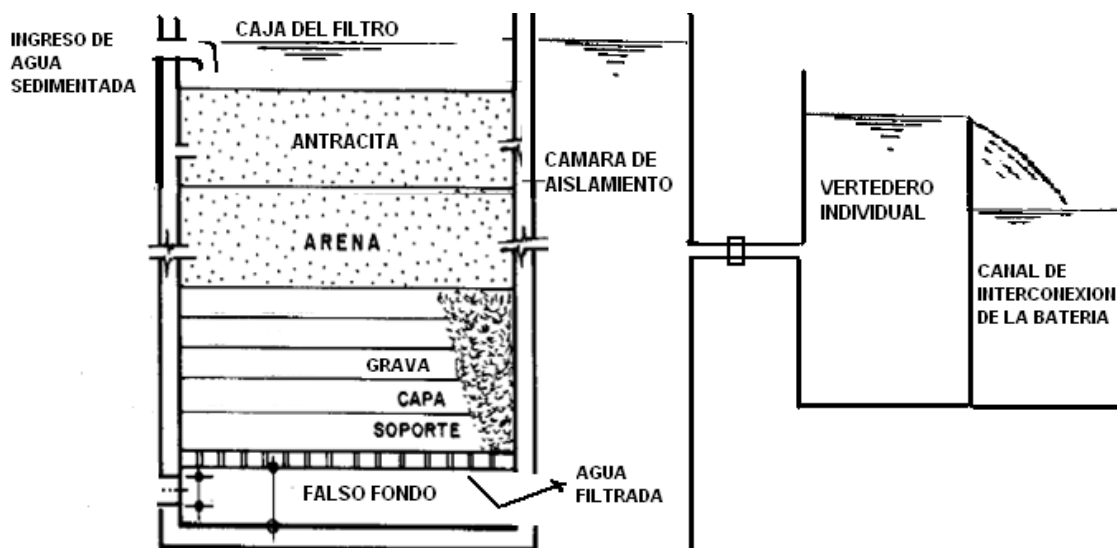


Fig. 25. Disposición del lecho filtrante.

7) Drenaje, capa soporte de grava y falso fondo

El drenaje está constituido por viguetas prefabricadas de concreto de forma triangular (Fig. 26a), de 0.30 metros de ancho, los orificios se ubican a ambos lados de la vigueta espaciados entre 0,15 metros centro a centro. Los orificios están construidos con niples de PVC de $\frac{1}{2}$ " de diámetro.

El soporte de grava está conformado por grava graduada de acuerdo con las especificaciones del cuadro 3, (Fig. 26b).

Se denomina falso fondo al canal ubicado debajo del drenaje, por donde sale el agua filtrada o asciende el agua para el retrolavado (Fig. 26b)



Fig. 26a. Vigueta prefabricada de concreto

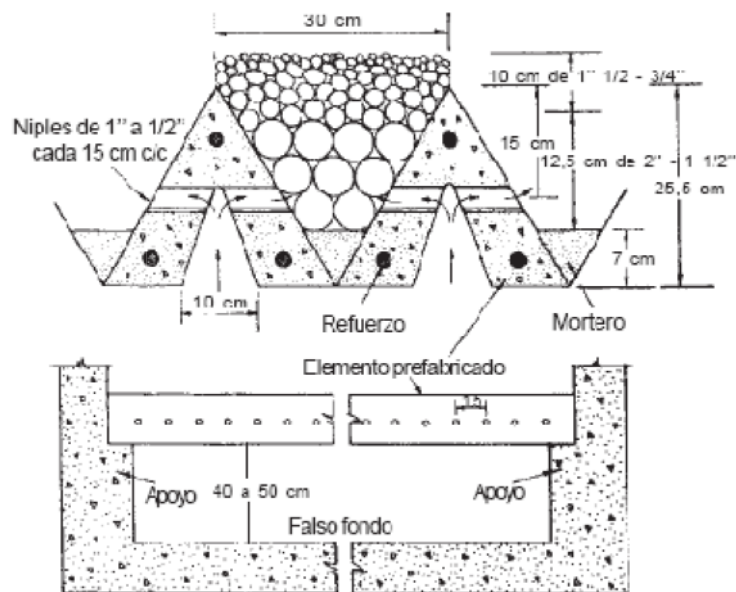


Fig. 26b. Soporte de grava y falso fondo.

4.2.2 Operación del Filtro

En la Planta de Tratamiento de Mahuarcay, el agua proveniente de los sedimentadores (convencional y de placas) es recolectado en un canal común (Fig.27a), para luego ser conducido a los filtros por medio de tuberías 160 mm, dicha tubería de entrada al filtro se encuentra a 2.15 m de altura (Fig.27b).



Fig.27a Canal común de agua sedimentada



Fig.27b Tubería que ingresa agua al filtro

El agua que ingresa a cada uno de los filtros, pasa a través del lecho filtrante de arriba hacia abajo. El agua que atraviesa la cama de arena-antracita se la denomina Agua Filtrada. Luego de pasar por la cama de arena-antracita se encuentran unas viguetas prefabricadas que sirve para dejar pasar únicamente el agua hacia la parte inferior de la cámara de filtración (falso fondo), sobre las viguetas se encuentra grava que sirve como material de soporte para la arena y antracita.

Cuando el nivel del agua dentro del filtro sube también asciende el nivel en la cámara común del agua sedimentada, en ésta cámara se encuentra una marca pintada a 30 cm por debajo del rebosadero (Fig. 28), cuando el agua alcanza ésta señal indica la necesidad del lavado de una unidad de filtración.



Fig. 28. Señal que indica el lavado de un filtro

Actualmente en la Planta de tratamiento de Mahuarcay la carrera de filtración varía de veinte y ocho (28) horas a treinta y cuatro (34) horas, cuando el agua cruda tiene turbiedades inferiores a los 100NTU. Cuando el agua tiene turbiedades superiores a los 100 NTU la carrera de filtración disminuye.

El proceso de operación de los filtros es el siguiente:

1.- El agua sedimentada ingresa al filtro través de una válvula tipo mariposa que debe estar abierta de (ϕ 160). Cada válvula



de cada filtro están ubicadas todas a la misma altura y por debajo del nivel mínimo de operación de la batería.

2.- Las válvulas de drenaje (ϕ 400) y del falso fondo (ϕ 160) deben estar cerradas.

3.- El nivel de agua dentro del filtro aumenta mientras al mismo tiempo atraviesa el lecho filtrante.

4.-Luego de pasar por el lecho filtrante el agua ingresa al falso fondo, luego a la cámara de aislamiento, posteriormente ingresa a un vertedero que controla la hidráulica del lavado y finalmente al canal de interconexión.

5.- Cada hora se mide turbiedad y color del agua filtrada tomada de la cámara de aislamiento.

6.- Esperar a que el nivel de agua alcance la marca del canal de agua sedimentada, para luego proceder al lavado de la unidad.

4.2.3 Operación de los filtros de Tasa Declinante

Los filtros de la Planta de Tratamiento de Mahuarca y operan con este sistema en donde la carga hidráulica disponible es íntegramente aplicada desde el inicio hasta el final de la carrera de filtración, lo que conlleva, con el transcurso del tiempo, una disminución gradual del caudal filtrado. Se sabe también que la calidad del efluente con tasa declinante es superior, con



carreras de filtración más largas, en relación con la obtenida en filtros operados con tasa constante.

Se llama filtro de velocidad constante o tasa constante aquellos filtros en el que durante toda la carrera de filtración se hace pasar el agua por el lecho filtrante a la misma velocidad. Decimos que se hace pasar el agua a la misma velocidad porque como ya vimos, el proceso natural es que mientras el lecho se va ensuciando (a medida que avanza el tiempo de la carrera de filtración) la cantidad de agua filtrada (velocidad) se vaya haciendo más pequeña.

Para lograr cambiar este proceso natural en estos filtros lo que se hace es obligar al filtro recibir y sacar una misma cantidad de agua (caudal) todo el tiempo. Esto se consigue instalando aparatos o dispositivos que se llaman controladores de caudal.

En los filtros de Velocidad Declinante o Tasa Declinante, el lecho se va ensuciando al transcurrir el tiempo y por tanto va pasando menos agua a través de ella, por lo que la velocidad de filtración va haciéndose más pequeña según pasa el tiempo.

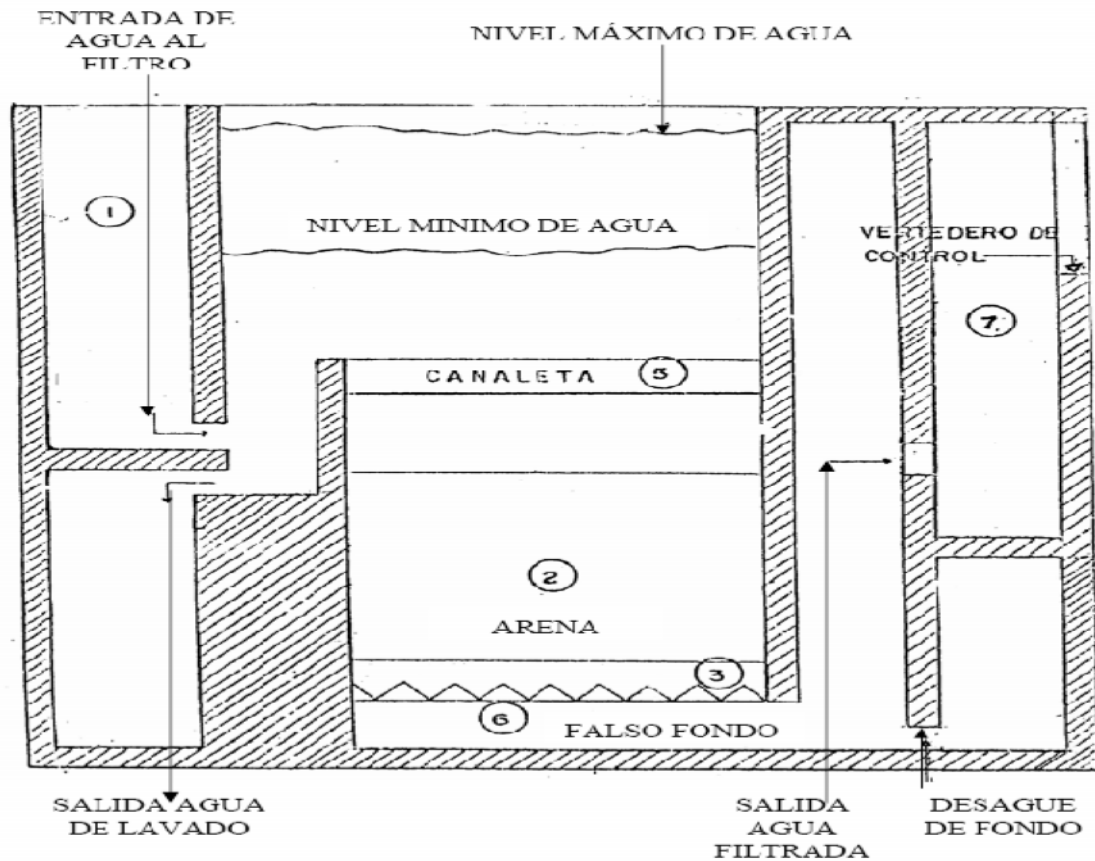
**SECCIÓN DE UN FILTRO DE UNA BATERIA DE FILTROS
RÁPIDOS AUTOLAVABLES DE TASA DECLINANTE**

Fig. 29. Esquema de sistema de filtración con tasa declinante sin almacenamiento sustancial aguas arriba de los filtros.

En estas unidades se identifican tres niveles de operación, N1, N2 y N3. El nivel N2 (nivel máximo) corresponde al instante en que un filtro de la batería debe ser lavado. También se denomina a este nivel de operación nivel máximo de operación de los filtros, que viene a ser el instante en el que se ha utilizado la totalidad de la carga hidráulica disponible para la filtración en la batería.

El nivel máximo de operación de los filtros: es la altura de agua sobre el lecho que nos indica el momento de lavar el filtro.



Durante el lavado de un filtro, los restantes de la batería deben absorber el caudal del filtro retirado de operación y, de este modo, el nivel de agua en ellos sube hasta alcanzar el valor máximo N3. Finalmente, cuando el filtro recién lavado es puesto en operación, este filtra un caudal superior a aquel obtenido cuando fue retirado para lavado y, en consecuencia, el nivel de agua en toda la batería, incluido el canal común de distribución, disminuye del nivel N3 hasta alcanzar un valor mínimo, que es el nivel N1.

El nivel mínimo de agua: es la altura de agua sobre el lecho a partir de la cual se empieza a filtrar. Antes de que el agua llegue a esta altura no es posible realizar la filtración.

Esta altura es el nivel al que se encuentra el agua cuando se inicia la filtración después que el filtro se acaba de lavar. O sea, este nivel mínimo o altura mínima lo tendremos en el filtro cuando éste opera con el lecho totalmente limpio.

De ahí en adelante, el nivel de agua en la batería de los filtros subirá progresivamente debido a la retención de impurezas en los filtros, hasta que el nivel N2 sea nuevamente alcanzado. Esto significará que otro filtro habrá concluido con la carrera de filtración y deberá ser retirado para su lavado.



El filtro que se retirará para el lavado será aquel que tenga el mayor número de horas en operación de filtración.

Las principales ventajas del sistema de tasa declinante con relación al sistema de tasa constante con controlador de caudal son las siguientes:

- a) Cuando un filtro es retirado de operación para que se le efectúe el lavado, el nivel de agua sube gradualmente en los demás y, como resultado de ello, las variaciones de las tasas de filtración son graduales.
- b) La pérdida de carga es evidente para el operador por la simple observación del nivel de agua en los filtros.
- c) La calidad del efluente es mejor cuando la tasa de filtración disminuye desde el inicio hasta el final de la carrera de filtración.
- d) Es mayor el volumen de agua producido por unidad de pérdida de carga debido a la retención de partículas.
- e) La carga hidráulica necesaria para la filtración es menor.
- f) Se evita la ocurrencia de presión inferior a la atmosférica en el interior del medio filtrante.
- g) Se eliminan los equipos mecánicos de control de toda índole, con la consiguiente reducción en los costos iniciales.



Es importante señalar que a medida que el medio filtrante se va taponando (colmatando) con las partículas que van quedando atrapadas en él, durante el proceso de filtración, el paso del agua por el medio filtrante se va haciendo más lento y difícil y por eso la altura de agua sobre el lecho va subiendo poco a poco desde el nivel mínimo (cuando el filtro está limpio) hasta este nivel máximo.

Cuando tenemos un conjunto o batería de filtros de tasa declinante como la que tiene cada módulo de la planta de tratamiento de Mahuarca, sucede lo siguiente:

Todos los filtros se comunican por medio del canal de distribución de agua.

A cada filtro, entra la cantidad de agua que ese filtro puede recibir de acuerdo al grado de suciedad que este tenga. Esto quiere decir, que el filtro que este más limpio de la batería es el que filtrará mayor cantidad de agua y el que esté más colmatado es el que filtrará menor cantidad de agua.

Como vimos anteriormente, mientras más sucio esté el lecho filtrante de un filtro más sube la altura de agua sobre el lecho. Pero como todos los filtros están comunicados por el canal de



distribución, la altura de agua sobre el lecho es la misma para todos los filtros de la batería.

Por este motivo, es muy importante saber cual es el filtro que hay que lavar cuando la altura de agua llegue al nivel máximo en toda la batería.

4.3 LAVADO SUPERFICIAL

El lavado superficial se realiza por medio de una bomba y una manguera la cual inyecta agua a presión sobre la superficie del lecho así como en las paredes del filtro, también se hace uso de la ayuda de un rastrillo, el mismo que pasa por la superficie del lecho filtrante para romper las bolas de barro. Es importante señalar que este proceso se realiza al inicio del lavado del filtro y durante aproximadamente cuatro minutos.

4.4 RETROLAVADO

El retrolavado 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 con presión adecuada, con el objeto de que el lecho filtrante se expanda, y se desprenda todo el material que ha quedado retenido en la operación de filtrado.



El agua para el lavado de un filtro es producido en el mismo sistema de filtración, constituyendo lo que se conoce como un sistema celular de filtración o filtros hidráulicos de lavado mutuo, o también conocidos como filtros autolavables, cuya principal ventaja radica en no requerir de sistemas de: almacenamiento, de bombeo, o de presión, y de otros accesorios e instrumentos dependiente de fuentes de externas de energía y de operación y mantenimiento calificados.

Después de algunas horas de operación y de dependiendo de las características del agua sedimentada, el filtro acumula en su lecho filtrante muchas impurezas, que impiden la circulación del agua, en ese momento, el filtro deberá lavarse, habiéndose cumplido la carrera de filtración.

Carrera de filtración.-Es el tiempo transcurrido entre dos lavados consecutivos del mismo filtro, que habitualmente es de 30 horas, se recomienda no superar las 48 horas para evitar problemas de contaminación.

Retrolavado.- Consiste en hacer pasar agua potable a una velocidad adecuada en sentido contrario al flujo habitual, es decir en forma ascendente. La duración del lavado puede estar



comprendida entre 10 y 20 minutos, dependiendo del grado de colmatación.

4.4.1 Condiciones para lavar un filtro.

Se debe lavar un filtro cuando:

- La turbiedad de agua filtrada es superior a la establecida es decir de 1 NTU, con excepción de aquellas situaciones especiales en que la turbiedad del agua filtrada no sea producto del filtro sino de problemas en las etapas anteriores del proceso como por ejemplo cuando se corta la dosificación del sulfato.
- El nivel de agua sedimentada ha alcanzado unos 30cm por debajo del vertedero del canal común recolector de agua sedimentada.
- Ha cumplido una carrera de 48 horas.

En la planta de Mahuarcay generalmente se lava un filtro cuando se ha cumplido la segunda condición.

4.4.2 Proceso de lavado.

Retrolavado de los filtros 1 al 8



1. Propósito u objetivo:

- Asegurar que la calidad del agua filtrada se mantenga y no desmejore.
- Asegurar el correcto el lavado de los filtros.

2. Alcance:

Este procedimiento tendrá lugar en los filtros cuando:

- La Turbiedad del agua filtrada sea mayor a 1.00 UTN o,
- El nivel del agua en el filtro ha alcanzado la señal marcada en el filtro o,
- Ha cumplido una carrera de 48 horas

3. Responsabilidad:

Es responsabilidad de los Técnicos Operadores de turno realizar el retrolavado de filtros cuando ellos lo requieran.

4. Desarrollo:

1. Cerrar la "Válvula de Ingreso de Agua Sedimentada al Filtro # 1" [roja]
2. Esperar 3 minutos para que el nivel del agua en el filtro descienda.
3. Abrir la "Válvula de Desfogue # NF1 "[negra]



5. Abrir la "Válvula de Retrolavado # NF1 "[pulsante rojo]
6. Tomar el tiempo de lavado
7. Luego de hecho el retrolavado el filtro cerrar el retrolavado [pulsante amarillo]
9. Cerrar la "Válvula de Desfogue # NF1 "[negra]
10. Abrir lentamente la "Válvula de Ingreso Agua Sedimentada a Filtro # NF1 " [Roja]

4.5 LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO DE UNIDADES DE FILTRACION

1. Propósito u objetivo:

Eliminar el material adherido en las paredes de los filtros y canales de los filtros.

2. Alcance:

Este procedimiento tendrá lugar en los filtros cuando se observe material acumulado en las paredes de los filtros y deberá realizarse por lo menos una vez por mes.

3. Responsabilidad:

Es responsabilidad de los Técnicos-operadores realizar el lavado de filtros cada vez que sea necesario.



4. Equipos y materiales:

Cepillos

Escobas

Escaleras

Ropa impermeable

5. Desarrollo:

1. Cerrar la compuerta de ingreso de agua al filtro.

2. Abrir la compuerta de agua de desfogue.

4. Remover y limpiar todo el material adherido en las paredes del filtro con ayuda de las escobas y cepillos.

5. Lavar con agua a presión las paredes y canaletas del filtro.

6. Retrolavar el filtro

7. Cerrar retrolavado.

8. Cerrar la compuerta de desfogue.

9. Abrir la compuerta de ingreso de agua al filtro.



**5.- No negarás a tu
descendencia el
derecho a tener Agua,
ya que sin ella no
podrán sobrevivir”**

CAPITULO V



V. PROCEDIMIENTOS PARA LA EVALUACIÓN DE LAS BATERÍAS DE FILTROS DE TASA DECLINANTE Y LAVADO MUTUO

Como consecuencia de las características de la suspensión, del medio filtrante, de la velocidad de filtración y la calidad del agua filtrada hay variables del proceso de filtración que son difíciles de controlar así como otras fáciles de controlar y de mayor significado en la operación del filtro.

A continuación se describen los procedimientos para evaluar cómo influyen todas estas variables en las instalaciones de filtración rápida de la Planta de Mahuarcay.

Los procedimientos a utilizar fueron tomados del Manual IV: Evaluación de Filtración Rápida del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), el cual se detalla a continuación:

5.1 CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD

5.1.1 DETERMINACION DE LA OPERACIÓN DE LA BATERÍA CON TASA DECLINANTE

Las baterías de tasa declinante operan con una carga hidráulica que por lo menos es la cuarta parte de lo que requeriría un filtro de tasa constante en condiciones equivalentes.

La operación con tasa declinante reduce la posibilidad de



deterioro del efluente, al dejar que cada filtro de la batería tome el caudal que puede tratar, de acuerdo al estado de colmatación del lecho filtrante. No se requiere de tanque elevado ni equipos de bombeo para el lavado de los filtros.

Objetivo

Comprobar si la batería de filtros fue bien concebida y si cumple con los requisitos básicos del proyecto para poder operar con tasa declinante.

Procedimiento

Revisar los registros de operación de filtros (anexo 3) y determinar cómo se están lavando estos:

- 1) Si se están lavando todos los filtros juntos, normalmente durante la noche y sin tener en cuenta un orden correlativo, quiere decir que la tasa declinante no está instalada. La prueba concluirá determinando la duración de las carreras de filtración.
- 2) Si los filtros se están lavando en orden consecutivo y desfasado durante todo el día, es evidencia de que en alguna medida se está operando con tasa declinante.



Para determinar si esta operación se efectúa correctamente, se debe determinar cuál es el criterio del personal de la Planta para tomar la decisión de lavar un filtro y cómo lo hace.

5.1.2 DETERMINACION PARA QUE LA BATERÍA DE FILTROS SEA AUTOLAVABLE

De la operación de lavado depende el mantenimiento del lecho filtrante, por lo que el diseño y construcción de este sistema es determinante para el buen funcionamiento y eficiencia de la unidad.

Objetivo

Comprobar si la batería de filtros fue bien concebida para que un filtro se pueda lavar con el flujo que produce el resto de unidades que componen la batería.

Procedimiento

- 1) Determinar si la velocidad de lavado necesaria permite expandir entre 25 y 30% el material filtrante.
- 2) Comprobar que el vertedero de salida del canal de interconexión de la batería debe proporcionar la carga hidráulica necesaria para compensar las pérdidas de carga que se producen durante esta operación



- 3) Observar que un filtro puede ser lavado con el flujo que producen las unidades restantes de la batería.
- 4) Comprobar que la batería tenga un canal que interconecte la salida de todos los filtros.

5.2 CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE FILTRACIÓN

Se va a evaluar principalmente las variaciones de la velocidad de filtración durante el proceso, la calidad del filtrado inicial que se obtiene y la duración de las carreras de filtración.

5.2.1 VELOCIDAD Y CAUDAL DE FILTRACIÓN

Al estar operando con tasa declinante el caudal de filtración de cada filtro, así como la velocidad de filtración, son diferentes en cada unidad de la batería. Al instalar la tasa declinante, desfasando las condiciones de operación de los filtros, cada filtro tiene un diferente estado de colmatación del lecho filtrante, y como por su especial diseño no admiten más agua que la que el estado del medio filtrante les permite, todos se encuentran operando con diferentes condiciones de caudal y velocidad. Como se lavan siempre en estricto orden consecutivo, el último que se ha lavado es el que está tomando



mayor caudal y tiene la velocidad más alta. En los anteriores van decreciendo tanto el caudal como la velocidad y el que tiene más tiempo operando, es el más sucio y el que tiene las condiciones mínimas de caudal y velocidad.

Objetivo

Determinar la velocidad de filtración con la que están operando los filtros.

Equipos y materiales

- Una regla graduada
- Un cronómetro
- Registros

Procedimiento

- 1) Colocar la regla dentro del filtro.
- 2) Cerrar la válvula de ingreso del afluente
- 3) Medir el tiempo (T_f) en segundos, necesario para que el nivel del agua baje de una marca de la regla a la siguiente, una distancia (H) de 30 cm.
- 4) Realizar varias veces la medición en los ocho filtros y promediar los valores de (T_f)
- 5) Calcular la velocidad de filtración, con la siguiente ecuación:



..... (16)

Donde:

f : Velocidad de filtración (m³ / m² d)

Af : Área del lecho filtrante (m²)

Tf : Tiempo de filtrado (s)

Vf : Volumen filtrado (m³)

....

(17)

A_F : Area de la caja del filtro (m²)

H : Altura que desciende el nivel del agua (m)

Determinación del caudal de operación

• A partir de los datos de altura (H) y tiempo (Tf) del ensayo anterior se puede determinar el caudal de filtración mediante la siguiente fórmula:

— — (18)

5.2.2 CALIDAD DEL FILTRADO INICIAL

Después del proceso de lavado, el primer efluente que produce el filtro por lo general tiene una turbiedad mayor que la del resto de la carrera, debido a que una parte de las partículas



que se desprendieron durante el lavado todavía permanecen en el filtro y salen al entrar en servicio. Normalmente, cuanto más descuidada sea la operación del filtro y peor se encuentre el medio filtrante, más turbio será el primer efluente que produzca el filtro.

Objetivo

Detectar el comportamiento del filtro al iniciar la carrera de filtración y determinar el tiempo que demora en alcanzar la turbiedad normal. Mediante esta prueba se puede determinar también el comportamiento del medio filtrante.

Materiales

- 15 recipientes de 150 mililitros o más
- Un turbidímetro.
- Cronómetro

Procedimiento

- 1) Numerar los frascos del 1 al 15 o más.
- 2) Luego de lavado el filtro esperar que se llene el canal de aislamiento del filtro.



- 3) Utilizando un tomador de muestras de profundidad y a partir del momento en que se reinicia la operación de filtrado, comenzar a tomar muestras del efluente cada minuto hasta completar 15 minutos.
- 4) Determinar la turbiedad de las muestras
- 5) Graficar turbiedad versus tiempo, en papel semilogarítmico de dos ciclos.

5.2.3 DURACIÓN DE LAS CARRERAS DE FILTRACIÓN

En una batería de filtros que funcione correctamente, la duración de las carreras de filtración puede variar entre 30 y 50 horas o más, dependiendo de la calidad del agua coagulada o decantada que reciba. Se denomina carrera de filtración al intervalo entre lavados de un mismo filtro.

Objetivo

Determinar la carrera de filtración de los filtros

Materiales

- Registros de operación (anexo 3)

Procedimiento



Esta determinación se efectúa analizando los registros de operación de los filtros.

5.3 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE LAVADO

Del comportamiento del sistema de lavado de la batería de filtros depende la conservación del lecho filtrante, por lo que las pruebas que se indican a continuación deben efectuarse periódicamente, a fin de efectuar los ajustes necesarios para que los filtros se conserven en buen estado.

5.3.1 EXPANSIÓN DEL MEDIO FILTRANTE

La expansión del lecho filtrante depende del caudal de lavado y del peso de los granos de arena y antracita. Este último varía de acuerdo con el diámetro del material granular.

Objetivo

Determinar el porcentaje de aumento de espesor del lecho filtrante durante la operación de lavado.

Materiales

- Varilla metálica con cajitas soldadas a una distancia de 5 centímetros entre los bordes de las cajitas (Fig. 30). En el

extremo final de la varilla, debe haber una placa metálica para evitar que se introduzca en la superficie de la arena.

- Flexómetro
- Cronómetro

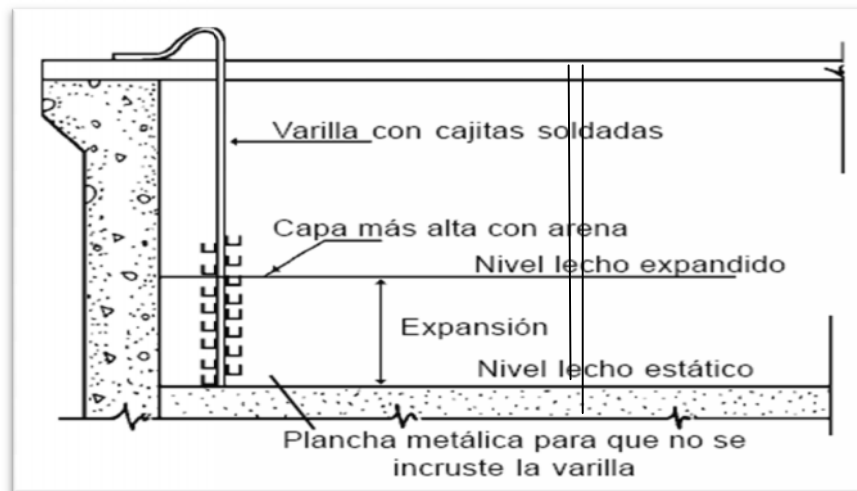


Fig. 30. Disposición del equipo en el filtro.

Procedimiento

- 1) Antes del inicio del lavado, situar la varilla dentro del filtro colocando el extremo inferior encima del lecho filtrante.
- 2) Proceder a efectuar el lavado normalmente.
- 3) Después de 3 minutos, retirar suavemente la varilla, verificar cuántas cajas están llenas del material filtrante y medir la distancia (Δh) entre la caja más alta que contenga arena y el extremo inferior de la varilla.
- 4) Determinar la altura del lecho filtrante (h) en el punto de medición.



5) Determinar el porcentaje de expansión (E) del lecho filtrante:

— ... (19)

Efectuar esta medición en varios puntos del lecho filtrante para determinar si la expansión es uniforme en toda el área del filtro.

Se recomienda medir en especial el punto opuesto a la salida del agua de lavado y el inmediato. Cuando hay una distribución defectuosa del agua de lavado, estos son los puntos en que hay mayor y menor expansión, respectivamente.

5.3.2 DURACIÓN DEL PROCESO DE LAVADO

Cuando se hace el lavado de un filtro, la turbiedad del agua de lavado aumenta rápidamente al principio y puede llegar a valores superiores a 1.000 UNT y luego, a medida que el lecho filtrante se va limpiando, la turbiedad va disminuyendo. Analizando esta curva, se puede determinar el tiempo de lavado más conveniente.

El tiempo de lavado también varía con la calidad del agua cruda. En la época de lluvia, cuando la turbiedad es alta, el



tiempo de lavado necesario suele ser mayor que en época de aguas claras.

Objetivo

Determinar el tiempo óptimo en que debe ejecutarse la operación de lavado.

Materiales

- 15 frascos de 150 mililitros, un cronómetro
- Un turbidímetro.
- Cronómetro
- Muestreador

Procedimiento

- 1) Numerar los frascos del 1 al 15.
- 2) Iniciar el lavado normal del filtro y tan pronto como caiga la primera agua de lavado en la canaleta, llenar el frasco 1 rápidamente.
- 3) Continuar llenando los frascos cada minuto hasta completar los 15.
- 4) Determinar las turbiedades de las muestras y dibujar la curva de turbiedad versus tiempo en papel logarítmico-aritmético de tres ciclos.



5) Determinar en la curva el punto de inflexión inferior en donde esta tiende a ser asintótica con respecto al eje horizontal. El tiempo óptimo de lavado corresponderá al coincidente con el punto de inflexión. A partir de este momento no se gana nada con prolongar el proceso. Sería deseable que en este punto se obtuviera un agua con una turbiedad no mayor de 5 UNT.

5.3.3 VELOCIDAD DE LAVADO DEL FILTRO

Objetivo

Determinar el caudal y la velocidad de lavado con que está operando el filtro.

Material

- Una regla graduada
- Un cronómetro

Procedimiento

- 1) Se fija la regla graduada a una de las paredes del filtro
- 2) Cerrar la válvula de ingreso de agua sedimentada y cuando el nivel del agua descienda hasta el nivel mínimo en el filtro abrir la válvula de desagüe.
- 3) Cerrar la válvula de salida de agua filtrada.



- 4) Cerrar la válvula de desagüe
- 5) Abrir la válvula de ingreso de agua de lavado
- 6) Medir el tiempo (T) que tarda en subir el nivel de agua en la caja del filtro una altura H.
- 7) Calcular la velocidad y el caudal de lavado.

$$- \quad \dots (20)$$

$$- \quad \dots (21)$$

Siendo:

= Velocidad de lavado

A: Área del filtro (m²)

H: Variación de la altura del agua (m)

T: Tiempo en que se incrementa una altura H (minutos)

5.4 CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FILTRANTE

El medio filtrante es la parte más importante del filtro, constituye propiamente el filtro, y las características que tienen más influencia en la eficiencia del filtro son el tamaño y la forma de los granos, la porosidad del medio filtrante y su altura.



5.4.1 GRANULOMETRÍA DEL MEDIO FILTRANTE

Objetivo

Determinar el tamaño de los granos que componen una muestra del medio filtrante.

Materiales

- Un juego de mallas de la serie Tyler.
- Balanza analítica
- Muestreador
- Recipientes

Procedimiento

- 1) Lavar el filtro normalmente y vaciarlo para poder ingresar.
- 2) Obtener una muestra representativa de toda la profundidad del lecho filtrante.
- 3) Secar y pesar la muestra de material filtrante.
- 4) Colocar la muestra en el juego de mallas Tyler, en el recipiente superior de mayor abertura y agitar el conjunto mecánica o manualmente, hasta que los granos pasen a través de tantas mallas como su tamaño lo permita.



- 5) Pesar las porciones de muestra retenidas en cada malla y calcularlas como porcentajes de la muestra total.
- 6) Graficar los porcentajes obtenidos en un papel logarítmico de probabilidades, colocando los porcentajes en peso acumulado en el eje de las ordenadas (escala logarítmica) y el tamaño de los granos en milímetros en el eje de las abscisas (escala de probabilidades).

5.4.2 BOLAS DE BARRO

Como consecuencia de un lavado deficiente del filtro (falta de expansión) o de una frecuencia inadecuada de retrolavados, el lodo se va acumulando dentro del lecho filtrante. Este grado de deterioro del lecho filtrante se puede visualizar a través de la presencia de bolas de lodo.

Objetivo

Determinar la cantidad de bolas de lodo presentes en el lecho filtrante.

Materiales

- Muestreador consistente en tubo metálico de 75 milímetros de diámetro y 0,15 metros de largo.
- Malla metálica número 10 (2 mm de abertura).



- Probeta de 500 ml.
- Balde

Procedimiento

Lavar normalmente el filtro y drenar el agua hasta 20 centímetros por debajo del nivel de la superficie de la arena.

- 1) Determinar el volumen del muestreador
- 2) Extraer cuatro muestras del lecho, incrustándolo hasta llegar a la grava.
- 3) Extraer suavemente el muestreador para evitar que la muestra se pierda.
- 4) Extender la arena sobre un plástico para separar con cuidado las bolas de lodo, dejándolas secar al sol.
- 5) Colocar las bolas de lodo secas en una probeta en la cual se ha colocado un determinado volumen de agua.

El volumen de las bolas es equivalente al incremento de volumen contenido en la probeta.

El resultado se expresa en porcentaje con respecto al volumen de arena procesada.

..... (22)



5.4.3 ESPESOR DEL MEDIO FILTRANTE

Cuando el lecho filtrante se expande demasiado, la antracita se pierde en cada retrolavado y se puede ver en la canaleta de recolección de agua de lavado, o se puede encontrar en el falso fondo del filtro o en el tanque de aguas claras cuando el drenaje se encuentra en mal estado y la antracita se pierde a través de este. Se puede evitar la pérdida del lecho si se controla cada seis meses su profundidad y se aplican medidas correctivas.

Objetivo

Determinar la profundidad del medio filtrante.

Materiales

- Varilla de ½" de diámetro
- Cinta métrica (figura 31).

Procedimiento

- 1) Después de lavar el filtro, se seca la superficie y se introduce la varilla metálica hasta encontrar la capa de grava.
- 2) Determinar la longitud de la porción de la varilla introducida.
- 3) Repetir esta operación en varios puntos del lecho.

4) Comparar las alturas con las indicadas en el proyecto o con la que le correspondería de acuerdo con la granulometría de la arena.

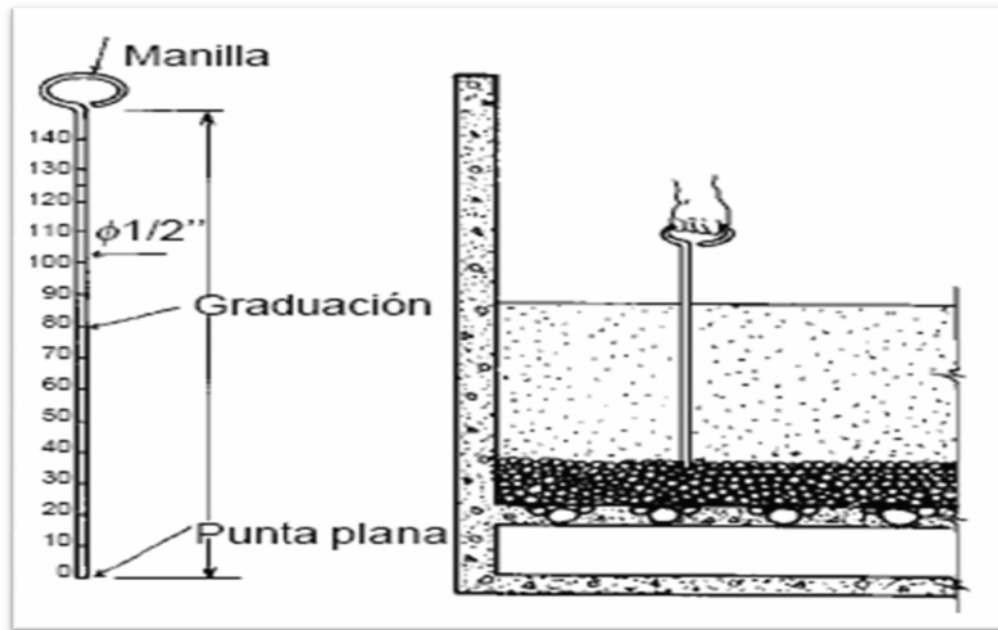


Fig. 31. Determinación de la profundidad del medio filtrante



6.- “Protegerás la pureza del Agua con palabras y hechos.”

CAPITULO VI



VI. REQUISITOS DEL CEPIS

6.1 CARACTERISTICAS DE LA UNIDAD

6.1.1 REQUISITOS PARA LA OPERACIÓN DE LA BATERÍA CON TASA DECLINANTE

Los requisitos básicos para que la batería pueda operar con tasa declinante son los siguientes:

- Debe estar integrada por un número mínimo de cuatro unidades.
- Debe tener la carga hidráulica necesaria para que cuando un filtro recién lavado entre en operación, la tasa de filtración no sea mayor de 1,5 veces la tasa promedio de proyecto. Es decir comprobar la relación: $u_{f\text{máx}} / u_{f\text{prom}} = 1,5$

En donde $u_{f\text{máx}}$ = velocidad de filtración máxima del filtro recién lavado, $u_{f\text{prom}}$ = velocidad de filtración promedio en la batería.

- Debe tener un aliviadero móvil en el canal de entrada (para que se pueda modificar el nivel de acuerdo con las necesidades). La función de este aliviadero es limitar la carga hidráulica para el proceso, de tal manera que la condición anterior no sea superada (tasa máx. = 1,5 tasa promedio).
- Los ingresos de agua decantada deben estar ubicados en un nivel inferior al nivel mínimo de operación de la batería.



6.1.2 REQUISITOS BÁSICOS PARA QUE LA BATERÍA DE FILTROS SEA AUTOLAVABLE

Los requisitos básicos para que la batería de filtros sea autolavable —es decir, para que un filtro cualquiera de la batería pueda ser lavado con el flujo que producen las unidades restantes— son los siguientes:

- La sección de cada filtro debe ser tal que al pasar el caudal que producen los filtros restantes (como mínimo tres) por la sección del filtro que se está lavando, se produzca la velocidad ascensional necesaria para expandir el medio filtrante entre 25% y 30%.
- La batería debe tener un canal que interconecte la salida de todos los filtros.
- Debe ubicarse un vertedero de salida sobre el canal de interconexión, que puede ser común a toda la batería o individual en cada filtro. Este vertedero debe establecer la carga necesaria para compensar todas las pérdidas que se producen durante la operación de lavado.
- Este vertedero debe ser móvil, para poder modificar la carga durante la operación, hasta obtener la expansión deseada.



6.2 CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE FILTRACIÓN

Los parámetros de diseño recomendados por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), se muestran a continuación:

6.2.1 VELOCIDAD Y CAUDAL DE FILTRACIÓN

Es usual adoptar un valor conforme muestra el Cuadro 6.

Cuadro 6 Tasas usuales de filtración en función del nivel de operación.

FILTRACION DESCENDENTE CON TASA DECLINANTE	RAPIDA	TASA DE FILTRACION (m ³ / m ² d)
a) De agua decantada, en medio filtrante único de arena con tamaño efectivo (T. E.) de 0,50 a 0,60 mm y espesor alrededor de 0,80 metros.		120 - 150
b) De agua floculada o prefloculada, en medio filtrante grueso y único, con espesor superior a un metro y uso de polímero como auxiliar		240 - 360
c) De agua decantada en medio filtrante doble, con espesor total inferior a 0,80 metros y buen nivel de operación y mantenimiento.		240 - 360



Para la PTM se debería cumplir con el tercer requisito, ya que los filtros son medio filtrante doble compuesto por arena y antracita con un espesor de 20cm y 50cm respectivamente. Por lo cual cuando se seleccionan lechos dobles de antracita y arena, se puede usar una tasa promedio de $240 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$.

6.2.2 CALIDAD DEL FILTRADO INICIAL

Inmediatamente después del lavado la turbiedad del efluente es por lo general más alta que más tarde, durante la carrera de filtración. Cuando la turbiedad alta persiste por más de 30 minutos es señal de que el proceso de filtración no se está realizando correctamente.

6.2.3 DURACIÓN DE LAS CARRERAS DE FILTRACIÓN

En una batería de filtros que funcione correctamente, la duración de las carreras de filtración puede variar entre 30 y 50 horas o más, dependiendo de la calidad del agua coagulada o decantada que reciba.



6.3 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE LAVADO

6.3.1 EXPANSIÓN DEL MEDIO FILTRANTE

Para que el medio filtrante se lave bien, debe producirse una expansión de 25% a 30% de manera uniforme en toda el área del filtro

6.3.2 DURACIÓN DEL PROCESO DE LAVADO

Es recomendable un tiempo para el cual se obtuviera un agua con una turbiedad no mayor de 5 UNT.

6.3.3 VELOCIDAD DE LAVADO

Generalmente, se fija una velocidad ascendente entre 0,7 y 1,0 m/min para filtros de flujo descendente.

6.4 CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FILTRANTE

6.4.1 GRANULOMETRÍA DEL MEDIO FILTRANTE

Cuando se seleccionan lechos dobles de antracita y arena, se recomienda lo expuesto en el cuadro 7.



Cuadro 7. Lecho filtrante doble de arena y antracita

CARACTERISTICAS	SIMBOLO	LECHO DOBLE	
		ARENA	ANTRACITA
Tamaño efectivo (mm)	(TE) D_{10}	0.50 - 0.60	0.75 - 0.9
Coeficiente de de uniformidad	CU	1.5	1.5
Tamaño mas fino (mm)		0.42	0.59
Tamaño mas grueso (mm)	D_{90}	1.41	2.0

6.4.2 BOLAS DE BARRO

Se puede calificar el filtro de acuerdo con el cuadro 8.

Cuadro 8. Clasificación del medio filtrante de acuerdo con el porcentaje de bolas de lodo

% de volumen de bolas de lodo	Condiciones del medio filtrante
0 – 0,1	Excelente
0,1 – 0,2	Muy bueno
0,2 – 0,5	Bueno
0,5 – 1,0	Regular
1,0 – 2,5	De regular a malo
2,5 – 5,0	Malo
7,5	Muy malo



Un filtro bien conservado no debe contener bolas de lodo. Sin embargo, es posible que con el transcurrir de los años, puedan irse formando hasta llegar a 1% sin que afecten mayormente el funcionamiento de la unidad.


6.4.3 ESPESOR DEL MEDIO FILTRANTE

La altura que corresponde a la arena en un lecho doble es 1/3 de la altura total, y la altura correspondiente a la antracita, 2/3 de la altura total del lecho filtrante.

Generalmente, se recomienda lo expuesto en el cuadro 9.

Cuadro 9. Espesor del medio filtrante

CARACTERISTICAS	LECHO DOBLE	
	ARENA	ANTRACITA
Espesor del medio filtrante (m)	0.25- 0.3	0.45 – 0.50



**7.- “No hurtarás el
Agua de tu vecino,
porque no eres el
dueño de la gran casa
que es el mundo”.**

CAPITULO VII



VII. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA EVALUACIÓN DE LAS BATERÍAS DE FILTROS DE TASA DECLINANTE Y LAVADO MUTUO

Para realizar las pruebas se aprovechó el momento de lavado de los filtros, con el objetivo de no desperdiciar el agua utilizada para el lavado de las unidades, se evaluaron todos los ocho filtros, teniendo presente que entre Octubre del 2006 y Enero del 2007 se cambiaron los lechos filtrantes en los filtros: 1,2,3,5,6; entre Abril y Mayo del 2009 se cambiaron de los filtros: 4,7 y 8; esta sustitución se realizó por el grado de deterioro en que se encontraba el medio, sobre todo porque no había estratificación en el lecho.

Conforme a procedimientos antes descritos en el capítulo V se ejecutaron todos los ensayos, algunas pruebas se realizó rastrillando el medio filtrante y otras sin rastrillar el mismo, esto con el objeto de observar si ésta actividad influye o no en la operación de los filtros, ya que los técnicos que laboran en la Planta han observado que mejora ciertos aspectos al rastrillar el medio filtrante como por ejemplo aumento de la carrera de filtración, menor tiempo de lavado, etc.; los resultados que se obtuvieron de las pruebas se detallan a continuación.

7.1 CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD

7.1.1 DETERMINACION DE LA OPERACIÓN DE LA BATERÍA CON TASA DECLINANTE

La Planta de Tratamiento de Mahuarcaý efectivamente está integrada por cuatro unidades en cada una de las dos baterías.

La Fig. 32 ilustra este caso.

Para determinar $u_{f\text{máx}}$ / $u_{f\text{prom}}$ 1,5 vamos a tomar como referencia los cuadros 15,16, 17, 18, 19 y 20 de los cuales extraemos la velocidad de filtración del filtro recién lavado es decir .

Luego determinamos la velocidad de filtración promedio ($f_{\text{prom.}}$) en la batería, que es la relación del caudal de operación de la batería Q en m^3/d , con el área total (A_t) de filtración de la batería:



Fig. 32. Baterías de filtros de la PTM



$f_{m\acute{a}x}$ en $m^3/m^2.d$

f_{prom} en $m^3/m^2.d$

Q en m^3/d

A_t en m^2

Y finalmente comprobamos o no la relación

Todo esto lo resumimos en el cuadro 10.

Cuadro 10. Determinación de la relación $u_{f_{m\acute{a}x}} / u_{f_{prom}}$

FECHA	VELOCIDAD DE FILTRACION DEL FILTRO RECIEN LAVADO ($m^3/m^2.d$)	CAUDAL DE OPERACIÓN DE LA BATERIA (m^3/d)	AREA DE FILTRACION DE LA BATERIA (m^2)	VELOCIDAD DE FILTRACION PROMEDIO DE LA BATERIA ($m^3/m^2.d$)	$\frac{u_{f_{m\acute{a}x}}}{u_{f_{prom}}}$
11/07/2009	270,3	4579,2	19,2	238,5	1,13
13/07/2009	321,3	4665,6	19,2	243	1,32
25/07/2009	331,5	4622,4	19,2	240,75	1,38
06/08/2009	316,2	4536,0	19,2	236,25	1,34
07/08/2009	326,4	4536,0	19,2	236,25	1,38
08/08/2009	321,3	4536,0	19,2	236,25	1,36

Como puede verse en el cuadro anterior la relación $u_{f_{m\acute{a}x}} / u_{f_{prom}}$ en ningún caso sobrepasa el 1,5.

- En el canal común de agua sedimentada hay una compuerta móvil (que se puede modificar el nivel de acuerdo con las necesidades). La función de esta compuerta es limitar la carga



hidráulica para el proceso, de tal manera que la condición anterior no sea superada (tasa máx. 1,5 tasa promedio).

- Los ingresos de agua decantada están ubicados en un nivel inferior al nivel mínimo de operación de la batería.

7.1.2 DETERMINACION SI LA BATERÍA DE FILTROS ES AUTOLAVABLE

Para determinar si la batería es autolavable hay que determinar si la expansión del lecho filtrante esta entre 25 y 30%, para establecer este parámetro vamos a hacer uso de los datos del cuadro 29 que lo resumimos en el cuadro 11.

Cuadro 11. Expansión del lecho filtrante

PORCENTAJE DE EXPANSION (%)		
Nº FILTRO	SIN RASTRILLADA DEL MEDIO FILTRANTE	CON RASTRILLADA DEL MEDIO FILTRANTE
1	12,68	28,77
2	11,42	20,55
3	5,78	18,87
4	33,82	37,81
5	5,20	15,86
6	8,27	14,94
7	22,27	35,66
8	23,91	40,46

- Cada batería efectivamente tiene un canal que interconecta la salida de todos los filtros (Fig. 33).
- Cada filtro tiene un vertedero que luego comunica al canal de interconexión (Fig. 33).
- La batería tiene vertedero general que es móvil, para poder modificar la carga durante la operación, hasta obtener la expansión deseada.



Fig. 33 vertederos individuales que comunica con el canal de interconexión.

7.2 CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE FILTRACIÓN

7.2.1 VELOCIDAD Y CAUDAL DE FILTRACIÓN

En la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (PTM) se evaluó la velocidad de filtración en los ocho filtros, siguiendo todos los

pasos descritos en el apartado 5.2.1 y teniendo presente para todos los filtros los siguientes datos:

Area de la caja del filtro : $A_F = B * L_F = 3.40 * 2 = 6.80 \text{ m}^2$

Area del filtro (lecho filtrante): $A_f = (B-x) * L_F = (3.40-1) * 2 = 4.80 \text{ m}^2$

Tiempo en el cual descendió $H=0.30\text{m}$: T_f en segundos

Volumen de agua filtrada : $V_f = A_F * H = 6.80 \text{ m}^2 * 0.30 \text{ m} = 2.04 \text{ m}^3$

Velocidad de filtración ($\text{m}^3/\text{m}^2 / \text{d}$) : _____

En la figura 34 se presenta un esquema de los filtros.

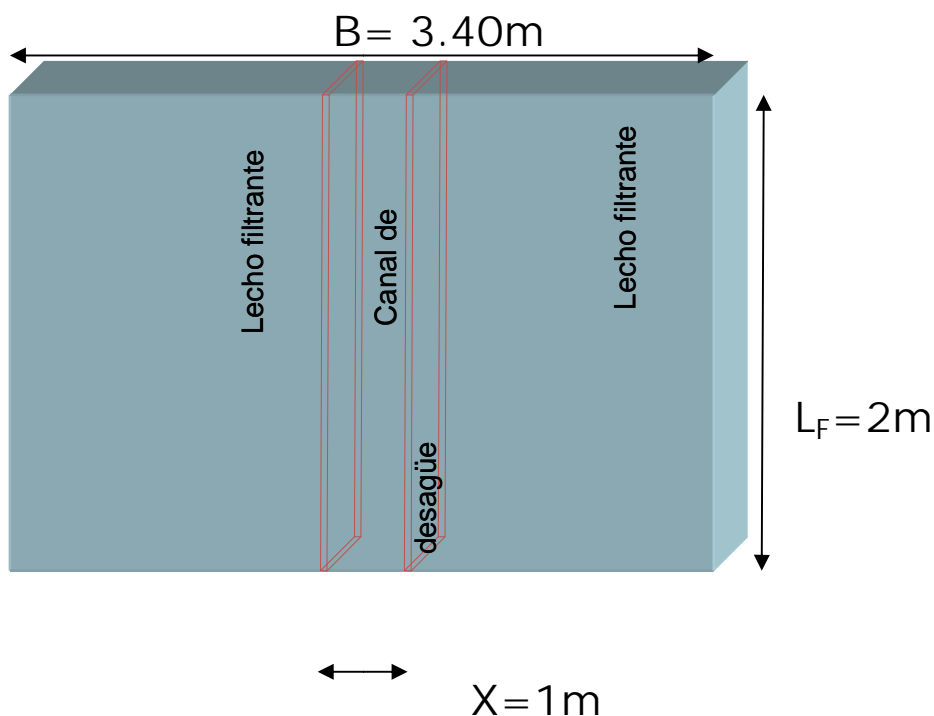


Fig. 34. Dimensiones de los filtros de la PTM



En seguida presentamos datos tabulados de tres pruebas realizadas sobre la velocidad de filtración, siguiendo el procedimiento del apartado 5.1.1. (Fig.35a, Fig. 35b). Los resultados se muestran en los cuadros 12, 13 y 14 que contienen las velocidades de filtración por cada unidad.



Fig. 35a. Determinación de la velocidad de filtración



Fig. 35b. Determinación de la velocidad de filtración



Tomando como referencia lo mencionado en el apartado 5.1.1., se dejó descender 30 cm de agua.

Cuadro 12. Velocidad de filtración

FECHA	# FILTRO	ALTURA INICIAL (m)	ALTURA FINAL (m)	VARIACION DE ALTURA (m)	TIEMPO (s)	VOLUMEN DE AGUA FILTRADA m ³	AREA DEL FILTRO (m ²)	AREA DEL LECHO FILTRANTE (m ²)	VELOCIDAD DE FILTRACION (m ³ /m ² .d)	CAUDAL DE FILTRACION (l/s)
25/07/2009	1	0,62	0,795	0,175	120	1,19	6,8	4,8	178,5	9,92
25/07/2009	2	0,755	0,935	0,18	120	1,224	6,8	4,8	183,6	10,20
25/07/2009	3	0,69	0,93	0,24	120	1,632	6,8	4,8	244,8	13,60
25/07/2009	4	0,845	1,105	0,26	120	1,768	6,8	4,8	265,2	14,73
25/07/2009	5	0,725	0,92	0,195	120	1,326	6,8	4,8	198,9	11,05
25/07/2009	6	0,695	0,895	0,2	120	1,36	6,8	4,8	204	11,33
25/07/2009	7	1,04	1,33	0,29	120	1,972	6,8	4,8	295,8	16,43
25/07/2009	8	0,85	1,175	0,325	120	2,21	6,8	4,8	331,5	18,42

Al sumar los caudales individuales nos da un caudal total $Q=87.66$ l/s, en ese momento la planta trabajó con un caudal de 101 l/s.

Cuadro 13. Velocidad de filtración

FECHA	# FILTRO	VARIACION N ALTURA (m)	TIEMPO INICIAL (s)	TIEMPO FINAL (s)	VARIACION DE TIEMPO (s)	VOLUMEN DE AGUA FILTRADA m ³	AREA DEL FILTRO (m ²)	AREA DEL LECHO FILTRANTE (m ²)	VELOCIDAD DE FILTRACION (m ³ /m ² .d)	CAUDAL DE FILTRACION (l/s)
15/07/2009	1	0,3	0	254	254	2,04	6,8	4,8	144,57	8,03
15/07/2009	2	0,3	120	330	210	2,04	6,8	4,8	174,86	9,71
15/07/2009	3	0,3	0	209	209	2,04	6,8	4,8	175,69	9,76
15/07/2009	4	0,3	115	252	137	2,04	6,8	4,8	268,03	14,89
15/07/2009	5	0,3	0	184	184	2,04	6,8	4,8	199,57	11,09
15/07/2009	6	0,3	77	202	125	2,04	6,8	4,8	293,76	16,32
15/07/2009	7	0,3	0	121	121	2,04	6,8	4,8	303,47	16,86
15/07/2009	8	0,3	25	450	425	2,04	6,8	4,8	86,40	4,80



Al sumar los caudales individuales nos da un caudal total $Q=91.46$ l/s, en ese momento la planta trabaja con un caudal de 101 l/s.

Cuadro 14. Velocidad de filtración

VARIACION ALTURA (m)	TIEMPO INICIAL (s)	TIEMPO FINAL (s)	VARIACION DE TIEMPO (s)	VOLUMEN DE AGUA FILTRADA m ³	AREA DEL FILTRO (m ²)	AREA DEL LECHO FILTRANTE (m ²)	VELOCIDAD DE FILTRACION (m ³ /m ² .d)	CAUDAL DE FILTRACION (l/s)
0,3	29	315	286	2,04	6,8	4,8	128,39	7,13
0,3	85	295	210	2,04	6,8	4,8	174,86	9,71
0,3	0	180	180	2,04	6,8	4,8	204,00	11,33
0,3	0	133	133	2,04	6,8	4,8	276,09	15,34
0,3	65	257	192	2,04	6,8	4,8	191,25	10,63
0,3	0	183	183	2,04	6,8	4,8	200,66	11,15
0,3	0	123	123	2,04	6,8	4,8	298,54	16,59
0,3	0	108	108	2,04	6,8	4,8	340,00	18,89

Al sumar los caudales individuales nos da un caudal total $Q=100.76$ l/s, en ese momento la planta trabaja con un caudal de 108 l/s

En estos ensayos se pudo observar que en los filtros que se habían lavado en las últimas horas antes de la prueba el descenso de los 30 cm ocurría en un corto periodo de tiempo, justamente porque la tasa de filtración era mayor debido a que fueron recién lavados; en cambio en aquellos filtros que estaban por lavarse después del ensayo el descenso de los 30 cm se desarrollaba en un tiempo entre 5 y 7 veces del tiempo



en que se demoraba los filtros recién lavados. Además la suma de caudales individuales de los filtros divergía mucho del caudal con que trabajaba la Planta en ese momento.

Razón por la cual se creyó conveniente tomar como referencia un tiempo determinado, para lo cual se empezó tomando un tiempo de cinco minutos, se determinó la tasa de filtración y el caudal de filtración de cada filtro, luego al sumar los caudales individuales se pudo notar que la diferencia entre el caudal de ingreso a la planta y el caudal de la sumatoria de los filtros era muy grande (anexo 4). Entonces se probó con un tiempo de 3 minutos y se pudo notar que la diferencia entre el caudal de ingreso a la planta y el caudal de la sumatoria de los filtros era menor pero aún así todavía existía una diferencia notable (anexo 5).

Luego se realizó los ensayos con un tiempo de 2 minutos con los resultados obtenidos se logró determinar que entre el caudal de ingreso a la planta y el caudal de la sumatoria de los filtros no había mucha diferencia, entonces se determinó la velocidad de filtración para un tiempo de dos minutos, dichos resultados se presentan en los cuadros 15, 16, 17, 18, 19, 20.



Cuadro 15. Velocidad de filtración

FECHA	# FILTRO	ALTURA INICIAL (m)	ALTURA FINAL (m)	VARIACION DE ALTURA (m)	TIEMPO (s)	VOLUMEN DE AGUA FILTRADA m ³	AREA DEL FILTRO (m ²)	AREA DEL LECHO FILTRANTE (m ²)	VELOCIDAD DE FILTRACION (m ³ /m ² .d)	CAUDAL DE FILTRACION (l/s)
11/07/2009	1	0.585	0.77	0.185	120	1.258	6.8	4.8	188.7	10.48
11/07/2009	2	0.72	0.95	0.23	120	1.564	6.8	4.8	234.6	13.03
11/07/2009	3	0.61	0.9	0.29	120	1.972	6.8	4.8	295.8	16.43
11/07/2009	4	0.79	1.085	0.295	120	2.006	6.8	4.8	300.9	16.72
11/07/2009	5	0.68	0.93	0.25	120	1.7	6.8	4.8	255	14.17
11/07/2009	6	0.765	1.03	0.265	120	1.802	6.8	4.8	270.3	15.02
11/07/2009	7	0.74	0.94	0.2	120	1.36	6.8	4.8	204	11.33
11/07/2009	8	0.61	0.78	0.17	120	1.156	6.8	4.8	173.4	9.63

Al sumar los caudales individuales nos da un caudal total $Q=106.81$ l/s, en ese momento la planta trabaja con un caudal de 107 l/s.

Cuadro 16. Velocidad de filtración

FECHA	# FILTRO	ALTURA INICIAL (m)	ALTURA FINAL (m)	VARIACION DE ALTURA (m)	TIEMPO (s)	VOLUMEN DE AGUA FILTRADA m ³	AREA DEL FILTRO (m ²)	AREA DEL LECHO FILTRANTE (m ²)	VELOCIDAD DE FILTRACION (m ³ /m ² .d)	CAUDAL DE FILTRACION (l/s)
13/07/2009	1	0,545	0,825	0,28	120	1,904	6,8	4,8	285,6	15,87
13/07/2009	2	0,81	1,09	0,28	120	1,904	6,8	4,8	285,6	15,87
13/07/2009	3	0,57	0,89	0,32	120	2,176	6,8	4,8	326,4	18,13
13/07/2009	4	0,915	1,23	0,315	120	2,142	6,8	4,8	321,3	17,85
13/07/2009	5	0,53	0,66	0,13	120	0,884	6,8	4,8	132,6	7,37
13/07/2009	6	0,485	0,625	0,14	120	0,952	6,8	4,8	142,8	7,93
13/07/2009	7	0,64	0,845	0,205	120	1,394	6,8	4,8	209,1	11,62
13/07/2009	8	0,5	0,685	0,185	120	1,258	6,8	4,8	188,7	10,48



Al sumar los caudales individuales nos da un caudal total $Q=105.11$ l/s, en ese momento la planta trabaja con un caudal de 106 l/s.

Cuadro 17.Velocidad de filtración

FECHA	Nº FILTRO	ALTURA INICIAL (m)	ALTURA FINAL (m)	VARIACION DE ALTURA (m)	TIEMPO (s)	VOLUMEN DE AGUA FILTRADA m ³	AREA DEL FILTRO (m ²)	AREA DEL LECHO FILTRANTE (m ²)	VELOCIDAD DE FILTRACION (m ³ /m ² .d)	CAUDAL DE FILTRACION N (l/s)
25/07/2009	1	0,62	0,795	0,175	120	1,19	6,8	4,8	178,5	9,92
25/07/2009	2	0,755	0,935	0,18	120	1,224	6,8	4,8	183,6	10,20
25/07/2009	3	0,69	0,93	0,24	120	1,632	6,8	4,8	244,8	13,60
25/07/2009	4	0,845	1,105	0,26	120	1,768	6,8	4,8	265,2	14,73
25/07/2009	5	0,725	0,92	0,195	120	1,326	6,8	4,8	198,9	11,05
25/07/2009	6	0,695	0,895	0,2	120	1,36	6,8	4,8	204	11,33
25/07/2009	7	1,04	1,33	0,29	120	1,972	6,8	4,8	295,8	16,43
25/07/2009	8	0,85	1,175	0,325	120	2,21	6,8	4,8	331,5	18,42

Al sumar los caudales individuales nos da un caudal total $Q=105.68$ l/s, en ese momento la planta trabaja con un caudal de 108 l/s.

Cuadro 18.Velocidad de filtración

FECHA	Nº FILTRO	ALTURA INICIAL (m)	ALTURA FINAL (m)	VARIACION DE ALTURA (m)	TIEMPO (s)	VOLUMEN DE AGUA FILTRADA m ³	AREA DEL FILTRO (m ²)	AREA DEL LECHO FILTRANTE (m ²)	VELOCIDAD DE FILTRACION (m ³ /m ² .d)	CAUDAL DE FILTRACION (l/s)
06/08/2009	1	0,6	0,755	0,155	120	1,054	6,8	4,8	158,1	8,78
06/08/2009	2	0,74	0,935	0,195	120	1,326	6,8	4,8	198,9	11,05
06/08/2009	3	0,62	0,82	0,2	120	1,36	6,8	4,8	204,0	11,33
06/08/2009	4	0,7	0,905	0,205	120	1,394	6,8	4,8	209,1	11,62
06/08/2009	5	0,86	1,10	0,24	120	1,632	6,8	4,8	244,8	13,60
06/08/2009	6	0,76	0,995	0,235	120	1,598	6,8	4,8	239,7	13,32
06/08/2009	7	0,94	1,21	0,27	120	1,836	6,8	4,8	275,4	15,30
06/08/2009	8	0,75	1,06	0,31	120	2,108	6,8	4,8	316,2	17,57



Al sumar los caudales individuales nos da un caudal total

$Q=102.57$ l/s, en ese momento la planta trabaja con un caudal de 105 l/s.

Cuadro 19.Velocidad de filtración

FECHA	Nº FILTRO	ALTURA INICIAL (m)	ALTURA FINAL (m)	VARIACION DE ALTURA (m)	TIEMPO (s)	VOLUMEN DE AGUA FILTRADA m ³	AREA DEL FILTRO (m ²)	AREA DEL LECHO FILTRANTE (m ²)	VELOCIDAD DE FILTRACION (m ³ /m ² d)	CAUDAL DE FILTRACION (l/s)
07/08/2009	1	0,685	0,88	0,195	120	1,326	6,8	4,8	198,9	11,05
07/08/2009	2	0,725	0,96	0,235	120	1,598	6,8	4,8	239,7	13,32
07/08/2009	3	0,755	1,01	0,255	120	1,734	6,8	4,8	260,1	14,45
07/08/2009	4	1,03	1,315	0,285	120	1,938	6,8	4,8	290,7	16,15
07/08/2009	5	0,91	1,16	0,25	120	1,7	6,8	4,8	255	14,17
07/08/2009	6	1,005	1,325	0,32	120	2,176	6,8	4,8	326,4	18,13
07/08/2009	7	0,69	0,82	0,13	120	0,884	6,8	4,8	132,6	7,37
07/08/2009	8	0,68	0,85	0,17	120	1,156	6,8	4,8	173,4	9,63

Al sumar los caudales individuales nos da un caudal total $Q=104.27$ l/s, en ese momento la planta trabaja con un caudal de 105 l/s.

Cuadro 20.Velocidad de filtración

FECHA	Nº FILTRO	ALTURA INICIAL(m)	ALTURA FINAL(m)	VARIACION DE ALTURA(m)	TIEMPO(s)	VOLUMEN DE AGUA FILTRADA m ³	AREA DEL FILTRO(m ²)	AREA DEL LECHO FILTRANTE(m ²)	VELOCIDAD DE FILTRACION (m ³ /m ² d)	CAUDAL DE FILTRACION (l/s)
08/08/2009	1	0,915	1,195	0,28	120	1,904	6,8	4,8	285,6	15,87
08/08/2009	2	1,205	1,52	0,315	120	2,142	6,8	4,8	321,3	17,85
08/08/2009	3	0,765	0,91	0,145	120	0,986	6,8	4,8	147,9	8,22
08/08/2009	4	0,81	0,99	0,18	120	1,224	6,8	4,8	183,6	10,20
08/08/2009	5	0,71	0,88	0,17	120	1,156	6,8	4,8	173,4	9,63
08/08/2009	6	0,685	0,91	0,225	120	1,53	6,8	4,8	229,5	12,75
08/08/2009	7	0,82	1,05	0,23	120	1,666	6,8	4,8	249,9	13,88
08/08/2009	8	0,79	1,08	0,29	120	1,972	6,8	4,8	295,8	16,43



Al sumar los caudales individuales nos da un caudal total $Q=104.83$ l/s, en ese momento la planta trabaja con un caudal de 105 l/s.

En el cuadro 21 se muestran las velocidades de filtración por filtro determinadas en los diferentes ensayos.

Cuadro 21. Velocidad de filtración por filtro

FILTRONº 1									
Fecha	Hora	AF(m ²)	Af(m ²)	H(m)	Tf(s)	Vf(m ³)	uf(m ³ /m ² .d)	q(l/s)	Q(l/s)
11/07/2009	09+20	6.8	4.8	0.185	120	1.258	188.70	10.48	107
13/07/2009	17+30	6.8	4.8	0.28	120	1.904	285.60	15.87	106
25/07/2009	14+45	6.8	4.8	0.175	120	1.19	178.50	9.92	108
06/07/2009	09+20	6.8	4.8	0.155	120	1.054	158.10	8.78	105
07/07/2009	10+35	6.8	4.8	0.195	120	1.326	198.90	11.05	105
08/07/2009	09+10	6.8	4.8	0.28	120	1.904	285.60	15.87	105
FILTRONº 2									
Fecha	Hora	AF(m ²)	Af(m ²)	H(m)	Tf(s)	Vf(m ³)	uf(m ³ /m ² .d)	q(l/s)	Q(l/s)
11/07/2009	09+20	6.8	4.8	0.23	120	1.564	234.60	13.03	107
13/07/2009	17+30	6.8	4.8	0.28	120	1.904	285.60	15.87	106
25/07/2009	14+45	6.8	4.8	0.18	120	1.224	183.60	10.20	108
06/07/2009	09+20	6.8	4.8	0.195	120	1.326	198.90	11.05	105
07/07/2009	10+35	6.8	4.8	0.235	120	1.598	239.70	13.32	105
08/07/2009	09+10	6.8	4.8	0.315	120	2.142	321.30	17.85	105
FILTRONº 3									
Fecha	Hora	AF(m ²)	Af(m ²)	H(m)	Tf(s)	Vf(m ³)	uf(m ³ /m ² .d)	q(l/s)	Q(l/s)
11/07/2009	09+20	6.8	4.8	0.29	120	1.972	295.80	16.43	107
13/07/2009	17+30	6.8	4.8	0.32	120	2.176	326.40	18.13	106
25/07/2009	14+45	6.8	4.8	0.24	120	1.632	244.80	13.60	108
06/07/2009	09+20	6.8	4.8	0.2	120	1.36	204.00	11.33	105
07/07/2009	10+35	6.8	4.8	0.255	120	1.734	260.10	14.45	105
08/07/2009	09+10	6.8	4.8	0.145	120	0.986	147.90	8.22	105



FILTRONº 4									
Fecha	Hora	AF (m ²)	Af (m ²)	H (m)	Tf (s)	Vf (m ³)	uf (m ³ /m ² .d)	q (l/s)	Q (l/s)
11/07/2009	09H20	6.8	4.8	0.295	120	2.006	300.90	16.72	107
13/07/2009	17H30	6.8	4.8	0.315	120	2.142	321.30	17.85	106
25/07/2009	14H45	6.8	4.8	0.26	120	1.768	265.20	14.73	108
06/07/2009	09H20	6.8	4.8	0.205	120	1.394	209.10	11.62	105
07/07/2009	10H35	6.8	4.8	0.285	120	1.938	290.70	16.15	105
08/07/2009	09H10	6.8	4.8	0.18	120	1.224	183.60	10.20	105

FILTRONº 5									
Fecha	Hora	AF (m ²)	Af (m ²)	H (m)	Tf (s)	Vf (m ³)	uf (m ³ /m ² .d)	q (l/s)	Q (l/s)
11/07/2009	09H20	6.8	4.8	0.25	120	1.7	255.00	14.17	107
13/07/2009	17H30	6.8	4.8	0.13	120	0.884	132.60	7.37	106
25/07/2009	14H45	6.8	4.8	0.195	120	1.326	198.90	11.05	108
06/07/2009	09H20	6.8	4.8	0.24	120	1.632	244.80	13.60	105
07/07/2009	10H35	6.8	4.8	0.25	120	1.7	255.00	14.17	105
08/07/2009	09H10	6.8	4.8	0.17	120	1.156	173.40	9.63	105

FILTRONº 6									
Fecha	Hora	AF (m ²)	Af (m ²)	H (m)	Tf (s)	Vf (m ³)	uf (m ³ /m ² .d)	q (l/s)	Q (l/s)
11/07/2009	09H20	6.8	4.8	0.265	120	1.802	270.30	15.02	107
13/07/2009	17H30	6.8	4.8	0.14	120	0.952	142.80	7.93	106
25/07/2009	14H45	6.8	4.8	0.2	120	1.36	204.00	11.33	108
06/07/2009	09H20	6.8	4.8	0.235	121	1.598	237.72	13.21	105
07/07/2009	10H35	6.8	4.8	0.32	120	2.176	326.40	18.13	105
08/07/2009	09H10	6.8	4.8	0.225	120	1.53	229.50	12.75	105

FILTRONº 7									
Fecha	Hora	AF (m ²)	Af (m ²)	H (m)	Tf (s)	Vf (m ³)	uf (m ³ /m ² .d)	q (l/s)	Q (l/s)
11/07/2009	09H20	6.8	4.8	0.2	120	1.36	204.00	11.33	107
13/07/2009	17H30	6.8	4.8	0.205	120	1.394	209.10	11.62	106
25/07/2009	14H45	6.8	4.8	0.29	120	1.972	295.80	16.43	108
06/07/2009	09H20	6.8	4.8	0.27	120	1.836	275.40	15.30	105
07/07/2009	10H35	6.8	4.8	0.13	120	0.884	132.60	7.37	105
08/07/2009	09H10	6.8	4.8	0.245	120	1.666	249.90	13.88	105



FILTRONº8									
Fecha	Hora	AF(m ²)	Af(m ²)	H(m)	Tf(s)	Vf(m ³)	uf(m ³ /m ² /d)	Q(l/s)	Q(l/s)
11/07/2009	09-20	68	48	0.17	120	1.156	173.40	9.63	107.83
13/07/2009	17-20	68	48	0.185	120	1.258	188.70	10.48	106.83
25/07/2009	14-45	68	48	0.31	120	2.108	316.20	17.57	107.83
06/07/2009	09-20	68	48	0.31	120	2.108	316.20	17.57	105.83
07/07/2009	10-25	68	48	0.17	120	1.156	173.40	9.63	105.83
08/07/2009	09-10	68	48	0.29	120	1.972	295.80	16.43	105.83

Elaborando promedios de cada filtro tenemos el cuadro 22.

Cuadro 22. Promedio de la velocidad de filtración

Promedio de Velocidad de Filtración								
Filtro Nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Velocidad de filtración (m ³ /m ² /d)	215,90	243,95	246,50	261,80	209,95	235,12	237,80	243,95
Caudal (l/s)	11,99	13,55	13,69	14,54	11,66	13,06	12,66	13,55

En el cuadro anterior también se muestra un promedio de caudal de cada filtro, que si al sumar los mismos nos da un caudal total de 104.72 l/s que esta muy próximo al promedio de los caudales que se trabajo en los días de prueba que es de 105.83 l/s.



Con los datos del cuadro 22 podemos obtener una curva de la velocidad de filtración (Fig. 36). En el cual podemos determinar una línea de tendencia la misma que nos da una velocidad de $235 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$.

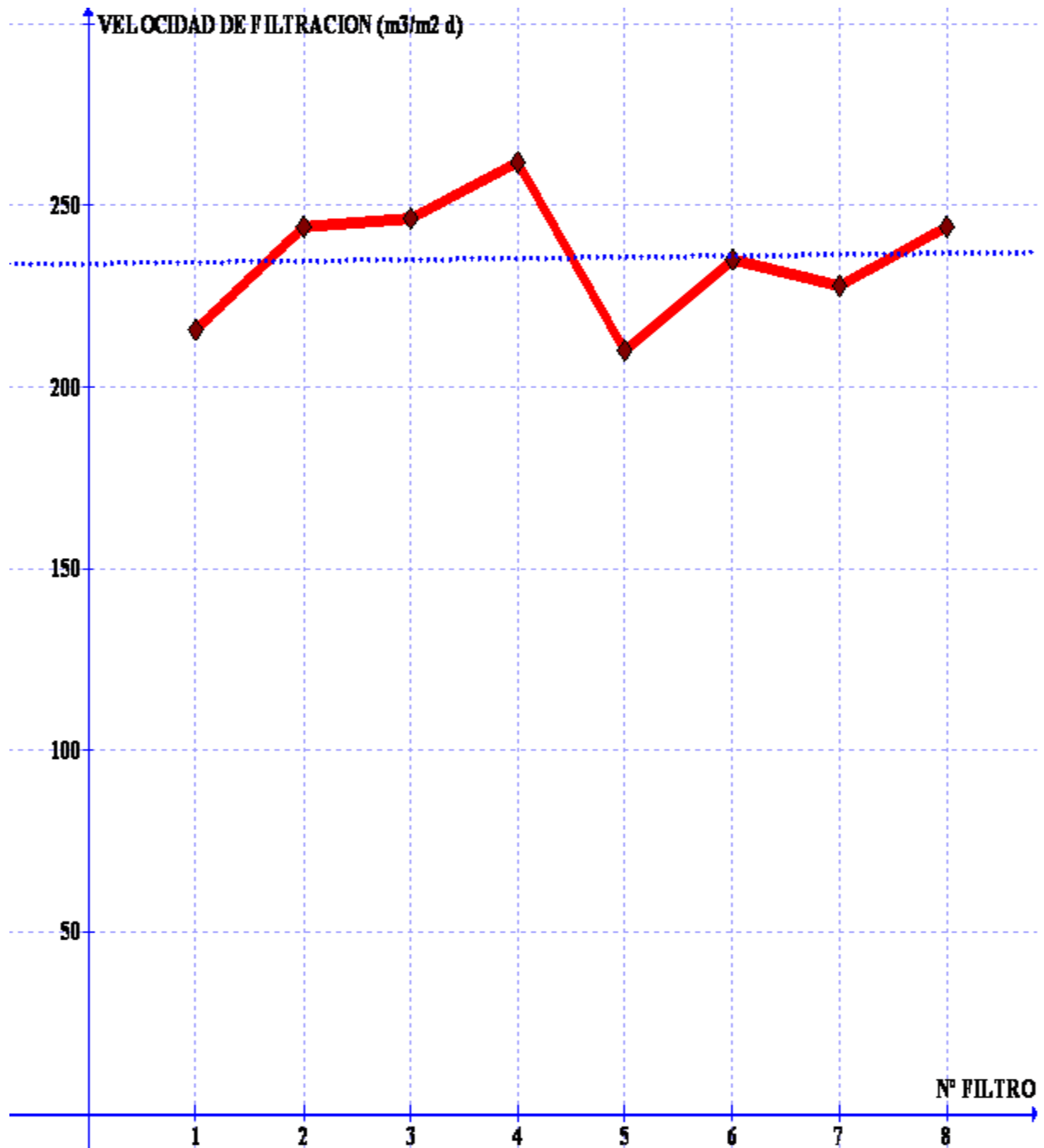


Fig. 36. Gráfico de velocidad de filtración



7.2.2 CALIDAD DEL FILTRADO INICIAL

En el cuadro 23 se incluye los datos de turbiedad medidos en los filtros inmediatamente después de ser lavados los mismos. En este caso no se hizo un rastrillado del lecho filtrante.

Cuadro 23. Turbiedades (NTU) medidas luego del proceso del retrolavado (sin rastrillar).

Tiempo (min)	TURBIEDAD(NTU)							
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
2	0,64	0,87	0,64	0,35	0,48	0,36	0,38	0,25
4	0,3	0,32	0,3	0,4	0,36	0,36	0,33	0,3
6	0,36	0,39	0,36	0,5	0,22	0,25	0,28	0,41
8	0,31	0,39	0,31	0,33	0,37	0,62	0,71	0,44
10	0,69	0,44	0,69	0,29	0,28	0,42	0,41	0,53
12	0,65	0,29	0,65	0,56	0,28	0,35	0,29	0,78
14	0,34	0,32	0,34	0,4	0,28	0,55	0,41	0,39
16	0,33	0,27	0,33	0,47	0,38	0,27	0,39	0,45
18	0,38	0,25	0,38	0,33	0,31	0,7	0,71	0,54
20	0,3	0,55	0,3	0,45	0,27	0,32	0,4	0,6
22	0,2	0,64	0,2	0,39	0,25	0,49	0,57	0,59
24	0,34	0,42	0,34	0,49	0,32	0,71	0,44	0,86
26	0,28	0,32	0,28	0,3	0,18	0,42	0,28	0,71
28	0,32	0,37	0,32	0,33	0,26	0,34	0,31	0,69
30	0,4	0,43	0,4	0,31	0,24	0,44	0,22	0,73

Con los datos del cuadro 23 podemos obtener una curva de la calidad de filtración inicial para cada filtro sin haber rastrillado el medio filtrante (Fig. 37).

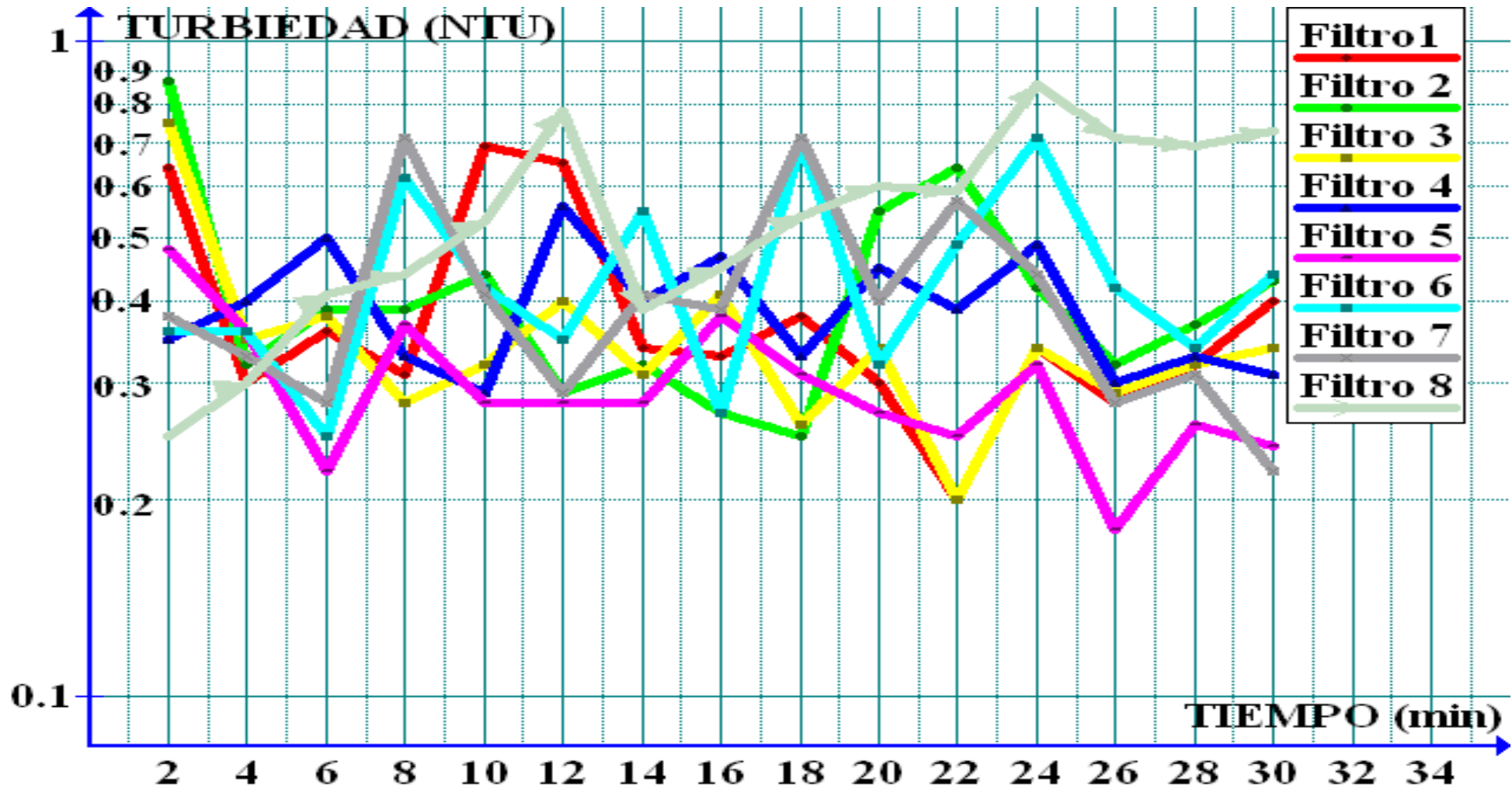


Fig. 37. Grafico turbiedad de filtrado inicial versus tiempo (sin rastrillar).



Así mismo podemos determinar una línea de tendencia de la calidad de filtrado inicial para cada filtro (Fig. 38).

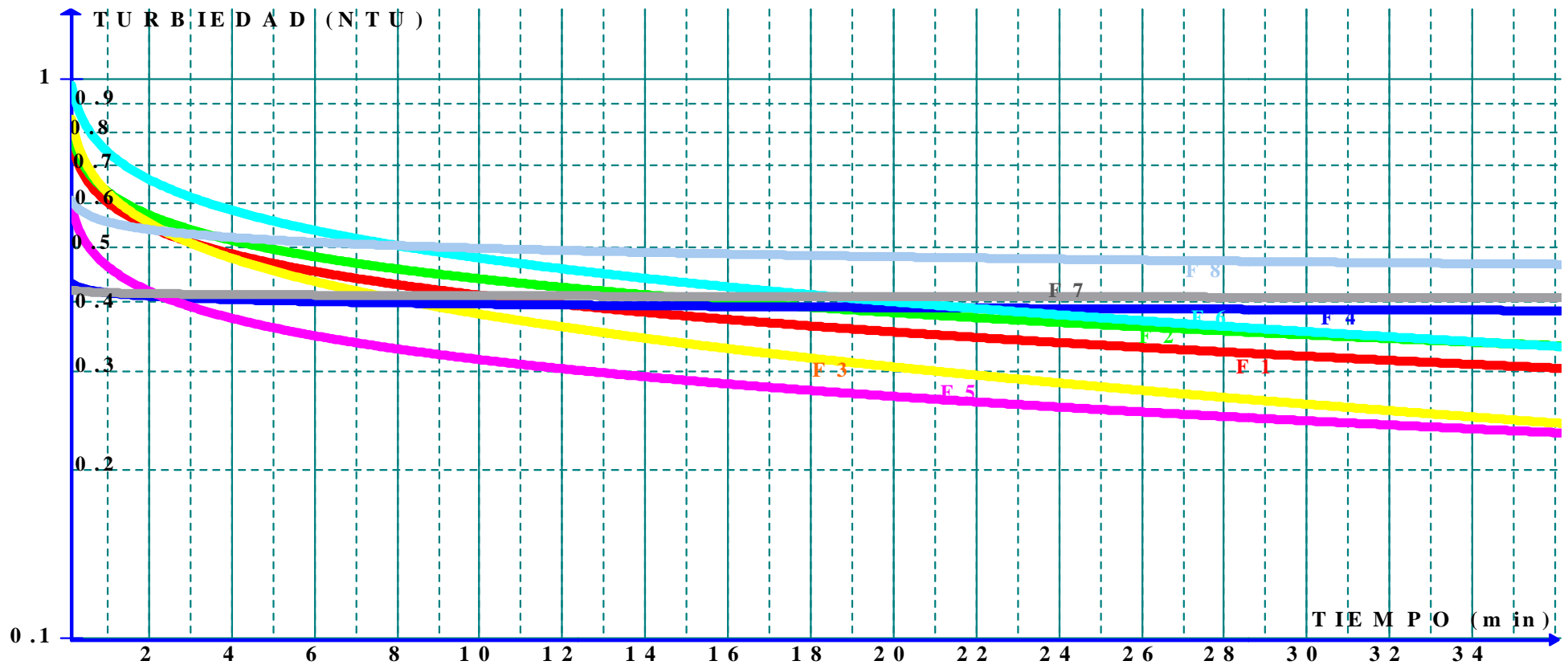


Fig. 38. Tendencia de la calidad de filtrado inicial sin rastrillar el medio filtrante.



En el cuadro 24 se incluye los datos de turbiedad medidos en los filtros inmediatamente después de ser lavados los mismos. En este caso se hizo un rastrillado del lecho filtrante.

Cuadro 24. Turbiedades (NTU) medidas en el proceso del retrolavado (con rastrillada).

Tiempo (min)	TURBIEDAD EN NTU							
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
2	0,53	0,28	0,62	0,51	0,32	0,44	0,34	0,44
4	0,41	0,33	0,4	0,64	0,39	0,38	0,29	0,19
6	0,3	0,36	0,39	0,39	0,24	0,41	0,47	0,29
8	0,42	0,31	0,36	0,25	0,38	0,35	0,33	0,27
10	0,36	0,47	0,22	0,26	0,27	0,29	0,39	0,31
12	0,32	0,52	0,34	0,4	0,27	0,37	0,27	0,31
14	0,41	0,31	0,27	0,25	0,29	0,32	0,24	0,29
16	0,36	0,45	0,39	0,24	0,42	0,3	0,29	0,26
18	0,37	0,36	0,28	0,32	0,35	0,34	0,31	0,36
20	0,41	0,33	0,25	0,24	0,34	0,27	0,36	0,33
22	0,33	0,28	0,3	0,3	0,32	0,29	0,28	0,3
24	0,41	0,26	0,26	0,28	0,35	0,22	0,26	0,21
26	0,48	0,29	0,29	0,29	0,23	0,24	0,29	0,26
28	0,45	0,24	0,28	0,26	0,31	0,28	0,27	0,27
30	0,43	0,27	0,29	0,27	0,26	0,26	0,26	0,22

Con los datos del cuadro 24 podemos obtener una curva de la calidad de filtración inicial cuando se ha rastrillado el medio filtrante (Fig. 39).

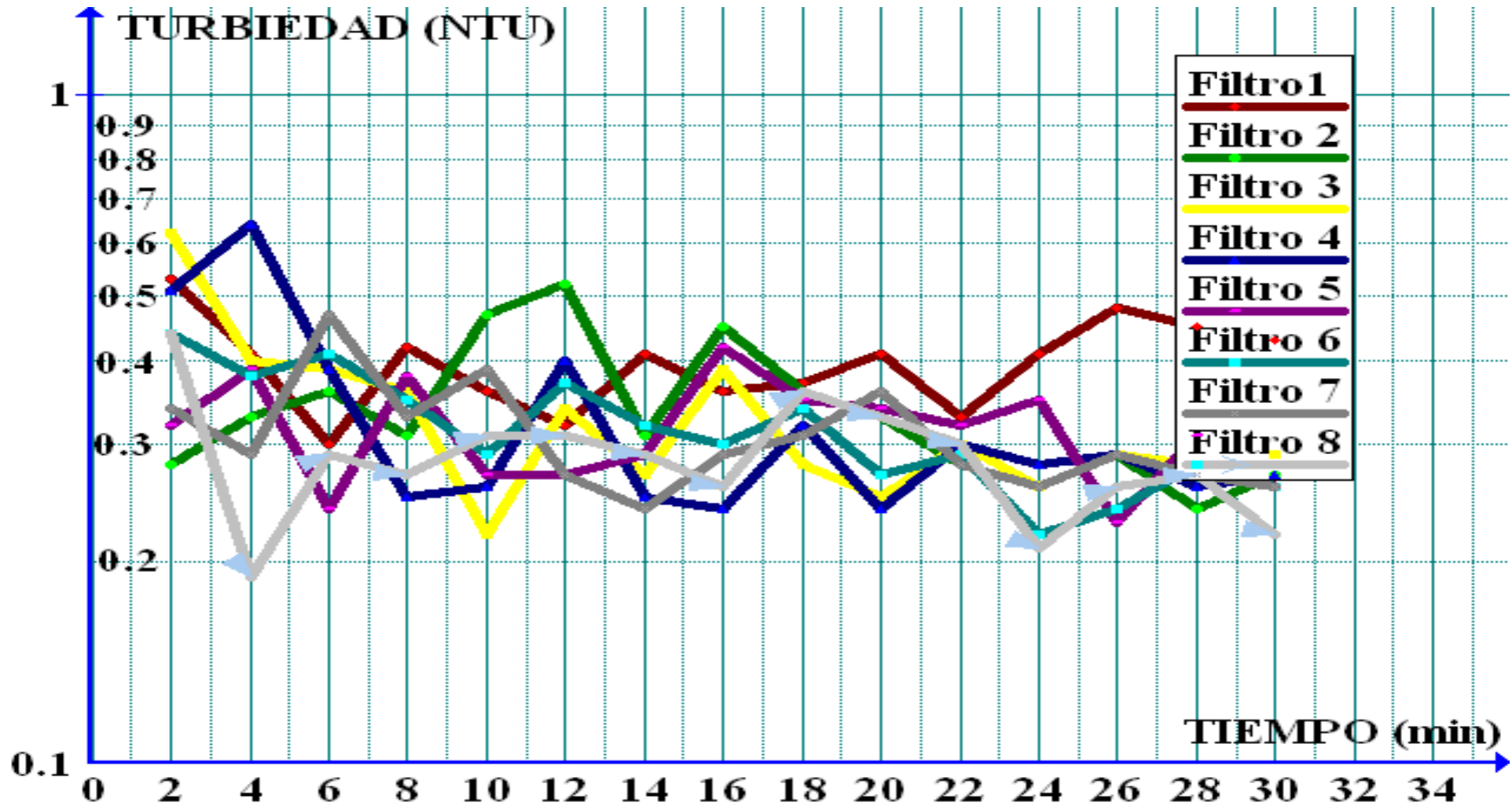


Fig. 39. Grafico turbiedad de filtrado inicial versus tiempo como línea de tendencia (con rastrillada).



También podemos determinar una línea de tendencia para la calidad de filtrado inicial para cada filtro cuando se ha rastrillado el medio filtrante (Fig. 40).

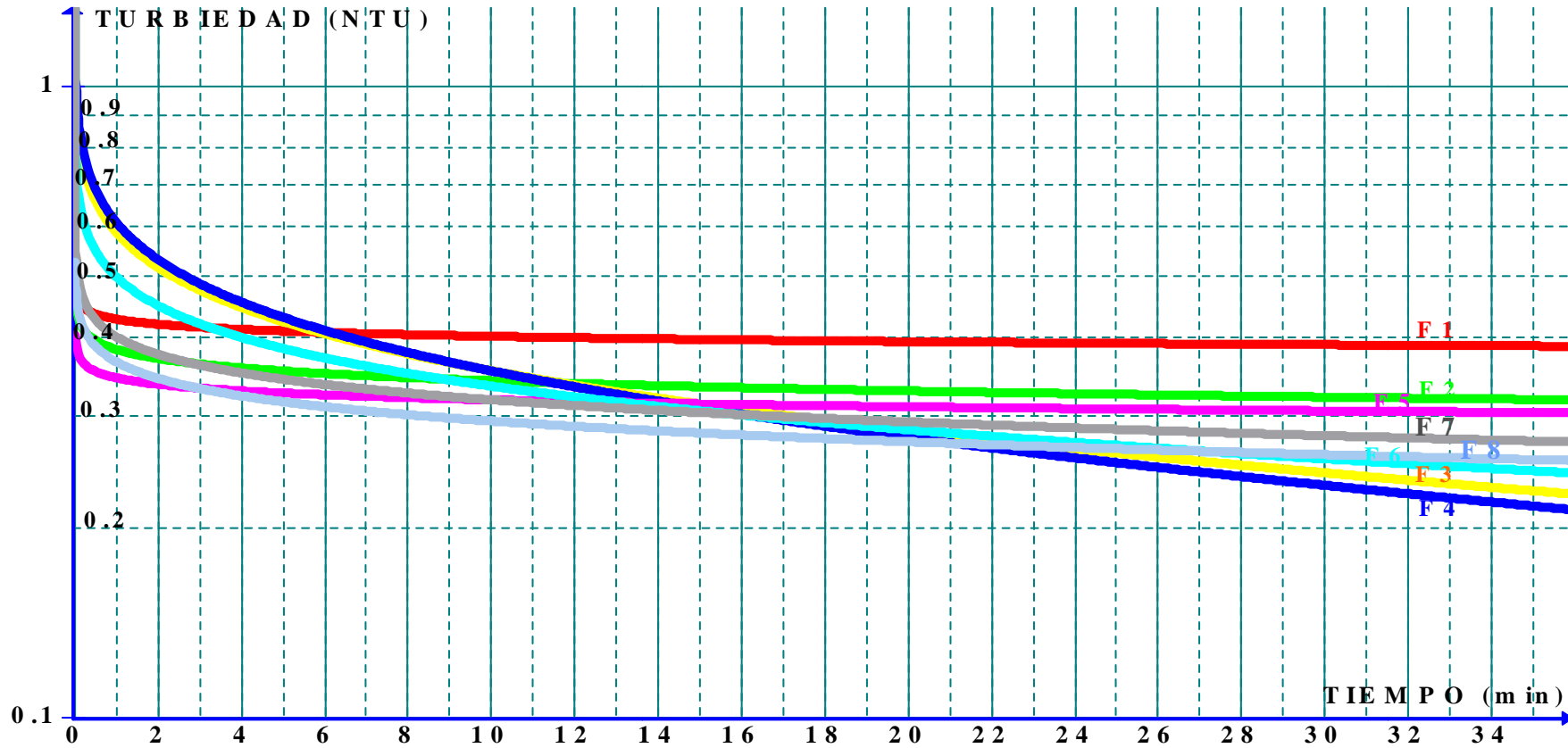


Fig. 40. Tendencia de la calidad de filtrado inicial cuando se rastrilla el medio filtrante

En la figura 41 se pueden apreciar las cámaras de aislamiento de cada filtro en los cuales se tomaron las muestras.

En la figura 42a y 42b se muestran los equipos necesarios para este ensayo.



Fig. 41. Cámara de aislamiento



Fig. 42a. Aparato para la toma de muestras.

Fig. 42b. Equipos y material necesario para la determinación de la calidad del filtrado inicial.



7.2.3 DURACIÓN DE LAS CARRERAS DE FILTRACIÓN

Para esta determinación se analizó el registro de operación de los filtros o lavado de filtros (anexo 3), llegándose a obtener el cuadro 25, que muestra las carreras de filtración en horas sin rastrillar el lecho filtrante.

Cuadro 25. Carreras de filtración en horas

PERIODO	CARRERA DE FILTRACION (h)								CONDICION
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	
01/07/09-04/07/09	31.41	32.41	32.33	30.75	28.33	32.33	30.91	31.75	Sin rastrillada del medio filtrante
05/07/09-08/07/09	31.83	32.00	32.00	31.58	28.66	28.16	30.50	30.41	
08/07/10-07/07/10	28.00	32.58	32.75	32.75	31.33	29.50	31.00	29.75	
10/07/09-13/07/09	27.25	28.33	26.16	28.83	27.58	30.08	32.25	32.25	
PROMEDIO	29.62	31.33	30.81	30.98	28.98	30.02	31.17	31.04	

También se determinó la carrera de filtración cuando si se rastrilló el medio filtrante cuyos resultados se muestran en el cuadro 26.

Cuadro 26. Carreras de filtración en horas

PERIODO	CARRERA DE FILTRACION (h)								CONDICION
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	
25/05/09-28/05/09	39.16	40.00	39.25	42.75	37.75	36.16	35.50	34.50	Con rastrillada del medio filtrante
26/05/09-28/05/09	31.91	33.75	34.16	35.91	36.08	35.08	34.50	34.25	
28/05/09-01/07/09	32.33	35.25	36.08	36.00	35.50	37.41	36.08	33.75	
16/07/09-15/07/09	36.16	36.75	36.50	34.00	33.75	33.00	34.41	36.16	
15/07/09-18/07/09	36.41	36.41	32.16	32.33	32.50	32.00	30.50	31.58	
18/07/09-21/07/09	33.41	33.08	34.75	35.00	33.50	33.00	33.00	32.00	
21/07/09-24/07/09	31.50	32.25	32.00	32.00	33.08	31.58	30.50	32.58	
25/07/09-29/07/09	30.33	30.00	31.83	32.91	32.33	31.41	30.33	31.75	
29/07/09-31/07/09	32.75	31.25	31.00	31.08	33.66	31.83	33.25	32.50	
PROMEDIO	33.77	34.30	34.19	34.66	34.24	33.50	33.12	33.23	



Los promedios de carrera de filtración de los cuadros 25 y 26 se representan en la Fig. 43, también se hace una representación como tendencia de la carrera de filtración en la Fig. 44.

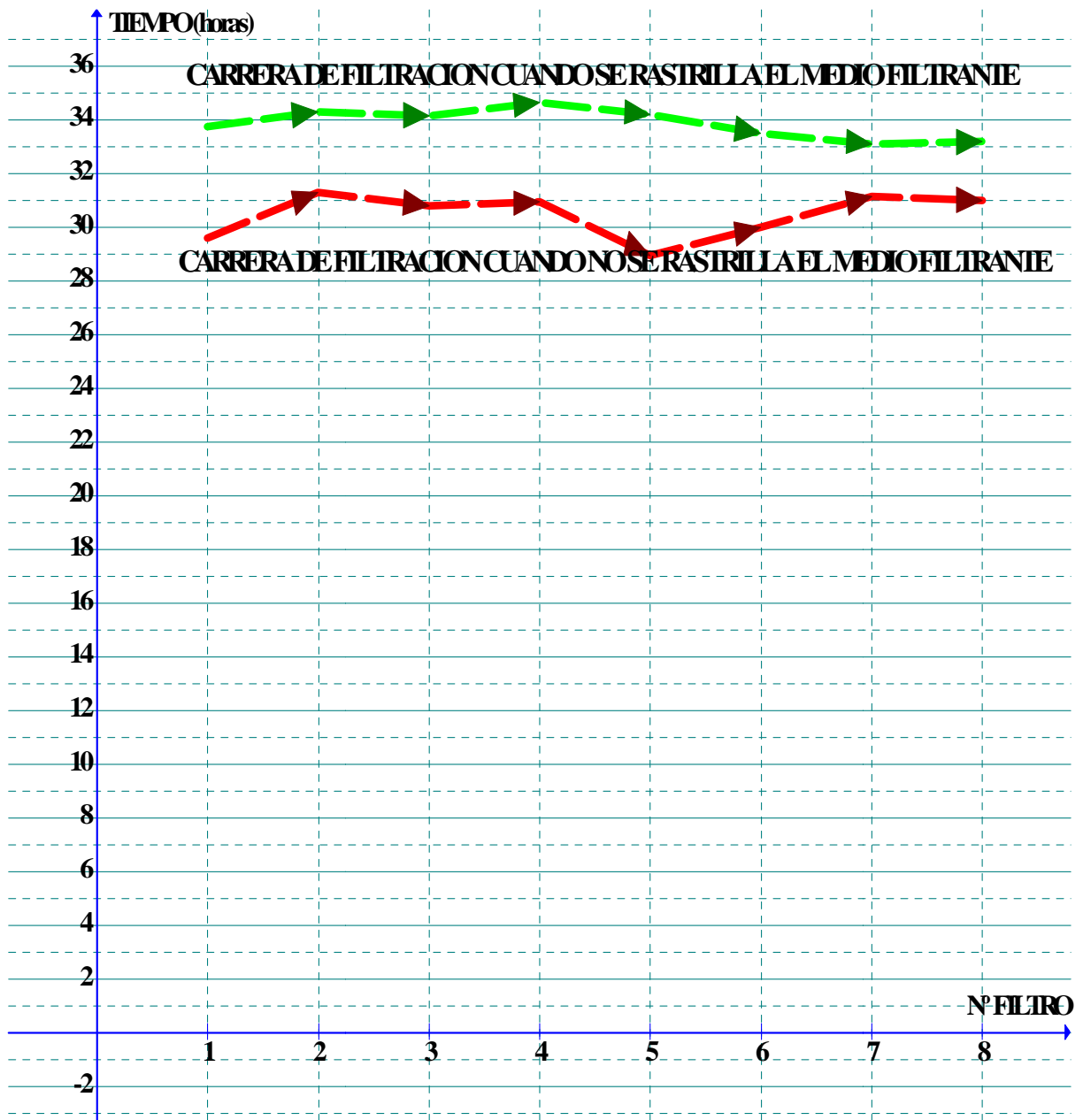


Fig. 43. Gráfico de la Carrera de filtración



CARRERA DE FILTRACION

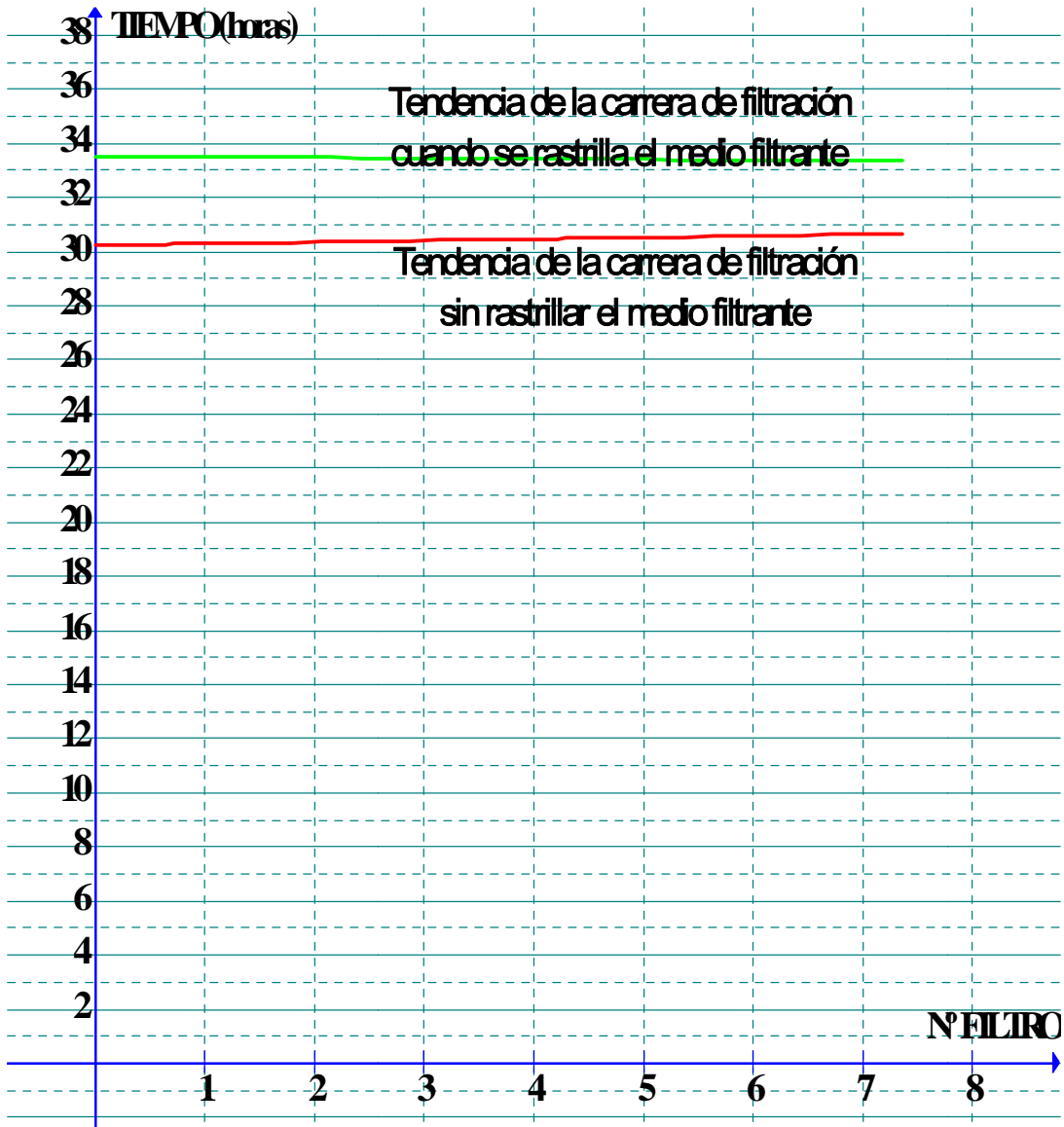


Fig. 44. Gráfico de la Carrera de filtración representado como tendencia.

7.3 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE LAVADO

7.3.1 EXPANSIÓN DEL MEDIO FILTRANTE

En el cuadro 27 se incluyen los resultados de las mediciones realizadas en los filtros de la PTM sin realizar rastrillado del



lecho y analizando los resultados con la altura del medio filtrante determinada en el apartado 7.3.3.

Cuadro 27. Expansión del medio filtrante sin rastrillado y comparada con altura determinada en el apartado 7.3.3.

FECHA	Nº FILTRO	ALTURAS DE MATERIAL OBTENIDAS EN EL EQUIPO (cm)		PROMEDIO DE ALTURA (cm)		ALTURA DEL LECHO DETERMINADA EN EL APARTADO 7.3.3 (cm)		PORCENTAJE DE EXPANSION (%)		PROMEDIO (%)
		LADO IZQUIERDO	LADO DERECHO	LADO IZQUIERDO	LADO DERECHO	LADO IZQUIERDO	LADO DERECHO	LADO IZQUIERDO	LADO DERECHO	
		10/07/2009	1	76	76	77	76	67,19	68,63	
10/07/2009	2	78	76	81,125	82,25	73,19	73,44	10,85	12,00	11,42
		78	76							
		76	76							
		79,5	84							
10/07/2009	3	79,5	79,5	77,75	76,75	73,31	72,75	6,05	5,50	5,78
		79,5	79,5							
		76	78							
		76	70							
10/07/2009	4	79,5	79,5	80,125	76,875	61,25	56,19	30,82	36,82	33,82
		79,5	76							
		79,5	76							
		82	76							
10/07/2009	5	76	71	77,375	75,75	73,63	71,94	5,09	5,30	5,20
		79,5	78							
		78	76							
		76	78							
10/07/2009	6	84	79,5	81,75	81,75	74,06	77,00	10,38	6,17	8,27
		79,5	84							
		84	84							
		79,5	79,5							
10/07/2009	7	89	89	89	87,75	72,81	71,75	22,23	22,30	22,27
		89	89							
		89	84							
		89	89							
10/07/2009	8	84	89	87,725	88,375	70,50	71,63	24,43	23,39	23,91
		86,4	89							
		94	89							
		86,5	86,5							

El equipo empleado para la determinación de la expansión del medio filtrante se presenta en la figura 45a, y la ubicación del mismo en el filtro, se muestran en las figuras 45b y 45c.



Fig. 45a equipo usado para la expansión



Fig. 45b determinación de la expansión



Fig. 45c. Determinación de la expansión

También se determinó la expansión del lecho filtrante cuando se rastrilló el lecho filtrante y analizando con la altura del medio



filtrante determinada en el apartado 7.3.3, obteniéndose los resultados que se muestran en el cuadro 28.

Cuadro 28. Expansión del medio filtrante con rastrillada y comparada con altura determinada en el apartado 7.3.3.

FECHA	Nº FILTRO	ALTURAS DE MATERIAL OBTENIDAS EN EL EQUIPO (cm)		PROMEDIO DE ALTURA (cm)		ALTURA DEL LECHO DETERMINADA EN EL APARTADO 7.3.3 (cm)		PORCENTAJE DE EXPANSION (%)		PROMEDIO (%)
		IZQUIERDO	DERECHO	IZQUIERDO	DERECHO	IZQUIERDO	DERECHO	IZQUIERDO	DERECHO	
10/07/2009	1	89	89	87.125	87.75	67.1875	68.625	29.67	27.87	28.77
		89	89							
		84	89							
		86.5	84							
10/07/2009	2	89	89	88.375	88.375	73.1875	73.4375	20.75	20.34	20.55
		89	89							
		89	89							
		86.5	86.5							
10/07/2009	3	89	89	86.5	87.125	73.3125	72.75	17.99	19.76	18.87
		84	89							
		89	86.5							
		84	84							
10/07/2009	4	84	79.5	83.375	78.375	61.25	56.1875	36.12	39.49	37.81
		84	78							
		84	78							
		81.5	78							
10/07/2009	5	84	84	84	84.625	73.625	71.9375	14.09	17.64	15.86
		84	84							
		84	86.5							
		84	84							
10/07/2009	6	84	89	85.25	88.375	74.0625	77	15.11	14.77	14.94
		84	86.5							
		89	89							
		84	89							
10/07/2009	7	100	100	99.25	96.875	72.8125	71.75	36.31	35.02	35.66
		100	100							
		98.5	89							
		98.5	98.5							
10/07/2009	8	100	100	99.625	100	70.5	71.625	41.31	39.62	40.46
		100	100							
		98.5	100							
		100	100							



Así mismo en la figura 46 se muestra una representación de los resultados de la expansión sin rastrillar y con rastrillada del medio filtrante comparada con la altura del medio filtrante determinada en el apartado 7.3.3.

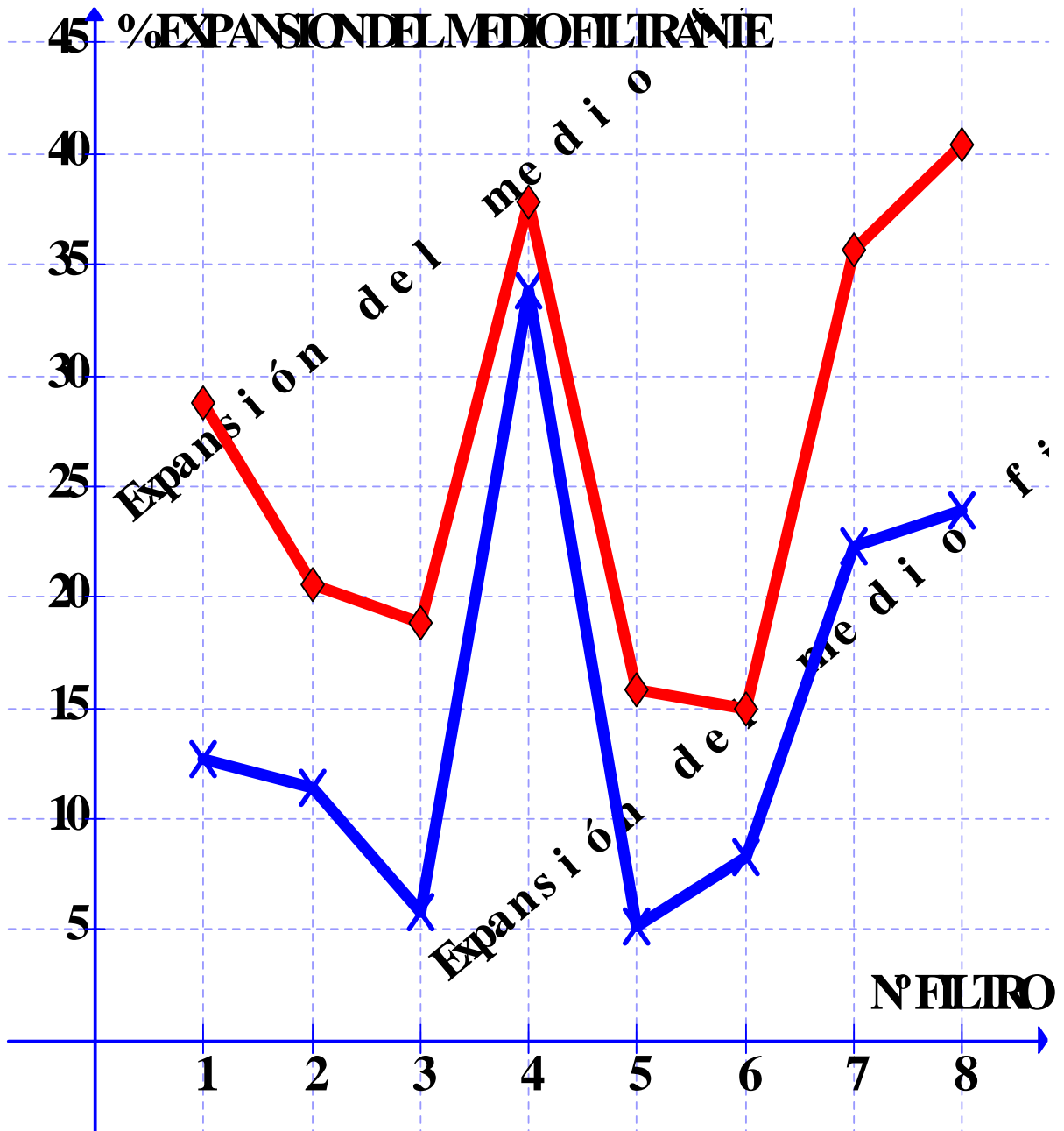


Fig. 46. Gráfico de la expansión del medio filtrante



7.3.2 DURACIÓN DEL PROCESO DE LAVADO

Los datos de turbiedad obtenidos en el momento del retrolavado de los ocho filtros se muestran en el cuadro 29, así como también los tiempos respectivos en los que fueron tomadas las muestras, esta determinación se realizó sin rastrillar los filtros.

Cuadro 29. Turbiedades (NTU) medidas en el proceso del retrolavado (sin rastrillar el medio filtrante)

Tiempo (min)	TURBIEDAD EN NTU							
	F 1	F 2	F 3	F 4	F 5	F 6	F 7	F 8
0	17,5	87,2	0,64	0,35	89,6	75,5	82,9	79,6
1	38,9	117	81	58,1	102	104	133	134
2	135	215	93,3	88,3	165	126	132	165
3	174	114	111	121	95,7	114	216	220
4	143	92,5	93,8	61,5	76	146	164	180
5	146	95,3	65,4	43,4	82	107	122	161
6	104	100	80,6	49,1	67	84,5	90,1	128
7	84,5	74,5	63,8	33,3	70	82,7	70,3	127
9	87,2	54,6	64,8	27,5	49,2	90	68,9	76,9
11	40,2	24,2	73,3	14,3	38,6	67,2	36,6	35,6
13	29,1	13,4	41	17,2	52,6	73,9	35,6	35,3
15	15,1	28,4	31,1	23,9	32,4	51,2	46,3	21,8
17	14,3	6,55	30	18,9	23,4	36,3	38,1	17,5
19	12,6	11,4	29,6	11,2	13	35,7	19,1	10,9

Los datos de turbiedad fueron graficados, dando origen a la figura 47.

También en la figura 48 tenemos un gráfico de la velocidad de lavado sin rastrillar el medio filtrante, pero representado como tendencia.

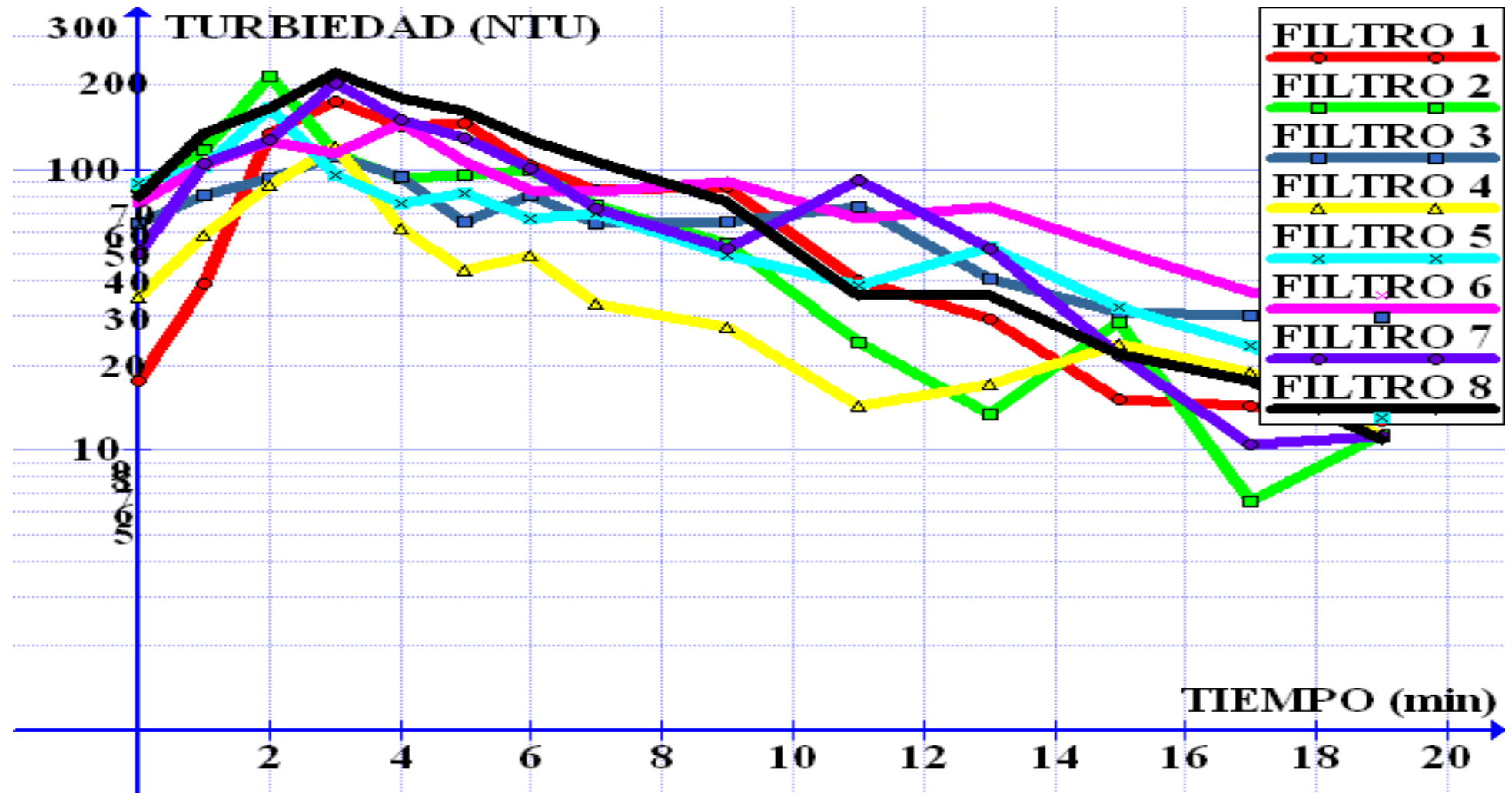


Fig. 47 Duración de lavado (sin rastrillar)

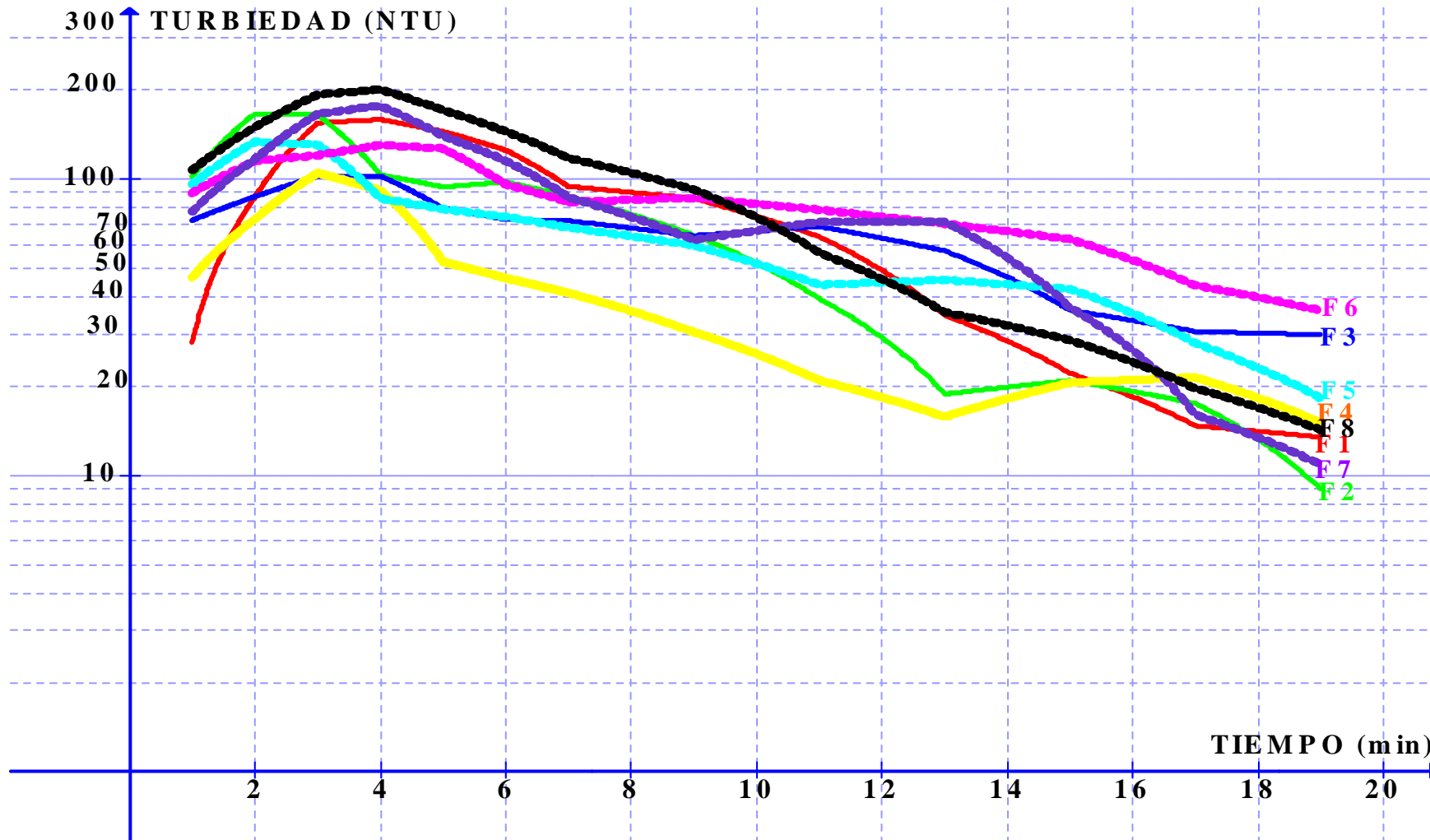


Fig. 48. Duración de lavado (sin rastrillar) representado como tendencia



Así mismo se determinó la duración del proceso de lavado pero rastrillando los filtros, obteniéndose los resultados expuestos en el cuadro 30, en donde entre los 7 y 8 minutos se rastrilló nuevamente el medio filtrante, con el propósito de comprobar si se incrementaba nuevamente la turbiedad. Estos datos de turbiedad fueron graficados, dando origen a la Figura 49.

Cuadro 30. Turbiedades (NTU) medidas en el proceso del retrolavado (rastrillando el medio filtrante)

Tiempo (min)	TURBIEDAD EN NTU							
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
0	45,5	79,5	56,5	20,2	105	124	50,1	60,4
1	171	190	135	50	236	241	105	107
2	371	257	228	175	314	383	128	248
3	295	235	226	240	273	264	243	197
4	229	187	163	183	208	226	150	147
5	149	153	110	148	200	207	129	114
6	125	118	71,8	86,5	125	146	101	102
7	93,2	98,2	59,1	72,4	136	111	72,4	91,1
9	68,3	81,2	44,6	63,4	94,3	243	52,1	63,3
11	132	124	95,6	107	217	187	91,2	148
13	106	68,2	56,5	62,9	259	147	52	126
15	60,6	25,7	42,4	45,5	176	68,8	21,5	55,4
17	33	8,95	16,6	21,9	70,1	48,2	10,5	18,3
19	11,7	9,45	10,4	12,8	44,5	16,6	11,2	12,3

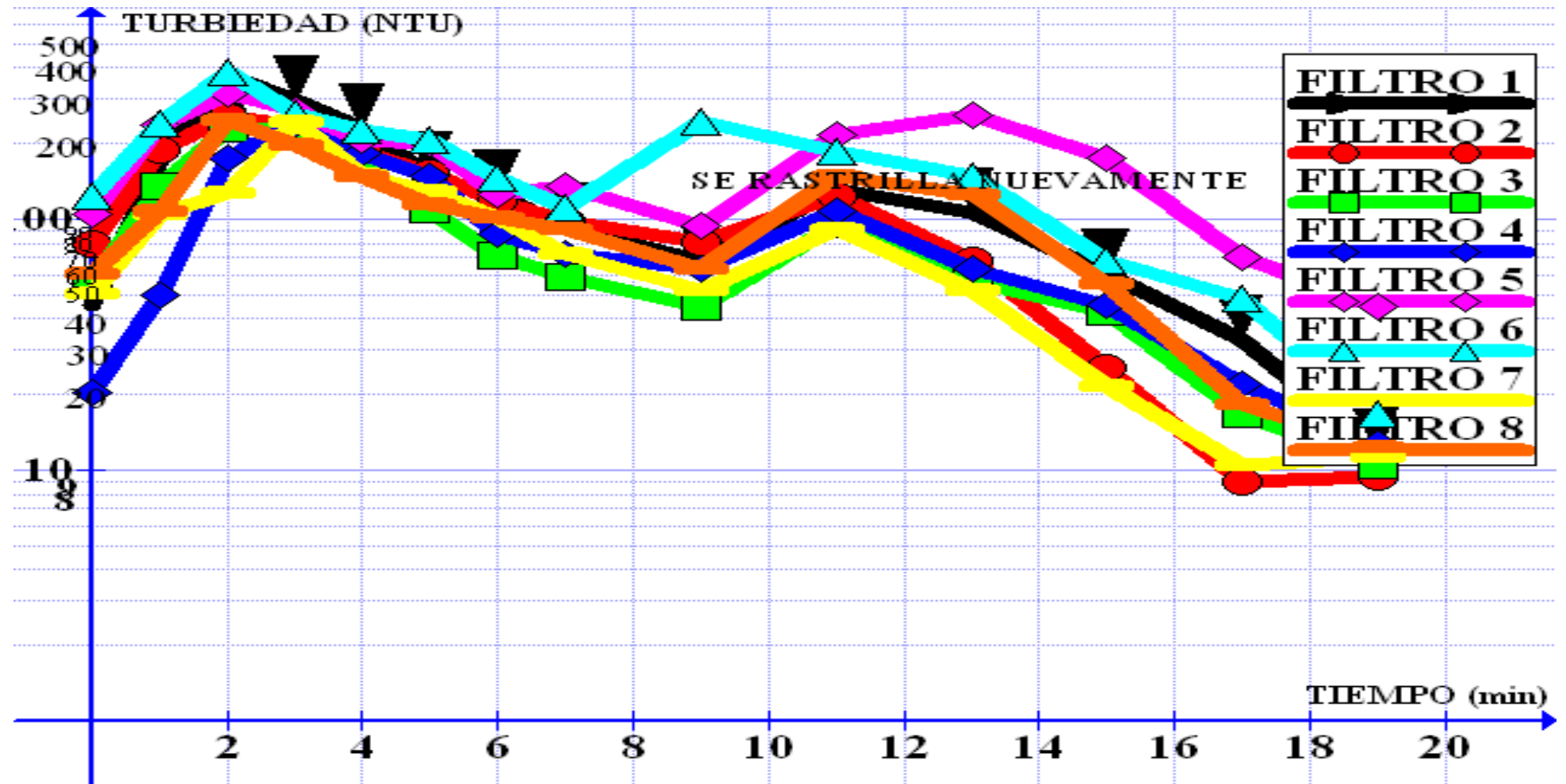


Fig. 49 Duración de lavado (con rastrillada del medio filtrante).



También en la Fig. 50 tenemos un gráfico de la duración de lavado cuando se rastrilló el medio filtrante, pero representado como tendencia.

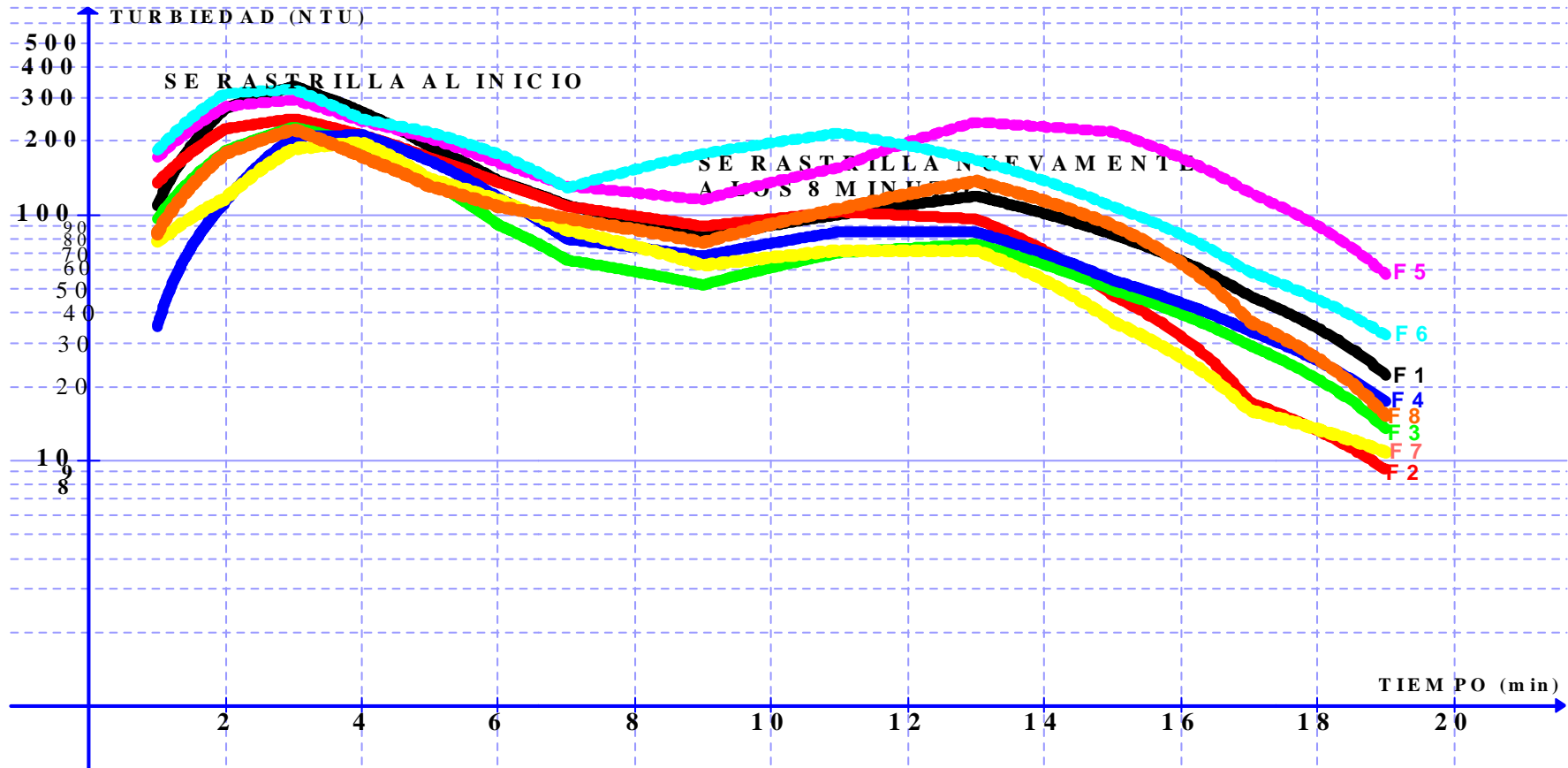


Fig. 50. Duración de lavado (con rastrillada del medio filtrante) representado como tendencia



7.3.3 VELOCIDAD DE LAVADO DEL FILTRO

Los resultados de la velocidad de lavado de cada una de las unidades, están contenidas en el cuadro 31, y su representación gráfica en la figura 51.

Cuadro 31. Velocidad de lavado

FECHA	N° FILTRO	ALTURAS(m)		PROMEDIO DE	TIEMPO(s)	VELOCIDAD DE LAVADO	VELOCIDAD DE	VELOCIDAD DE
		IZQUIERDO	DERECHO	ALTURAS(m)		(cm/s)	LAVADO(m/s)	LAVADO(m/min)
05/07/2009	1	72	71	71,5	94	0,76	0,00761	0,46
06/07/2009	2	66	65	65,5	82	0,80	0,00799	0,48
06/07/2009	3	66	66	66	77	0,85	0,00857	0,51
08/07/2009	4	78	82	80	74	1,08	0,01081	0,65
08/07/2009	5	66	68	67	95	0,71	0,00705	0,42
04/07/2009	6	65	62	63,5	82	0,77	0,00774	0,46
04/07/2009	7	68	68	68	65	1,05	0,01046	0,63
05/07/2009	8	68	67	67,5	68	1,07	0,01071	0,64

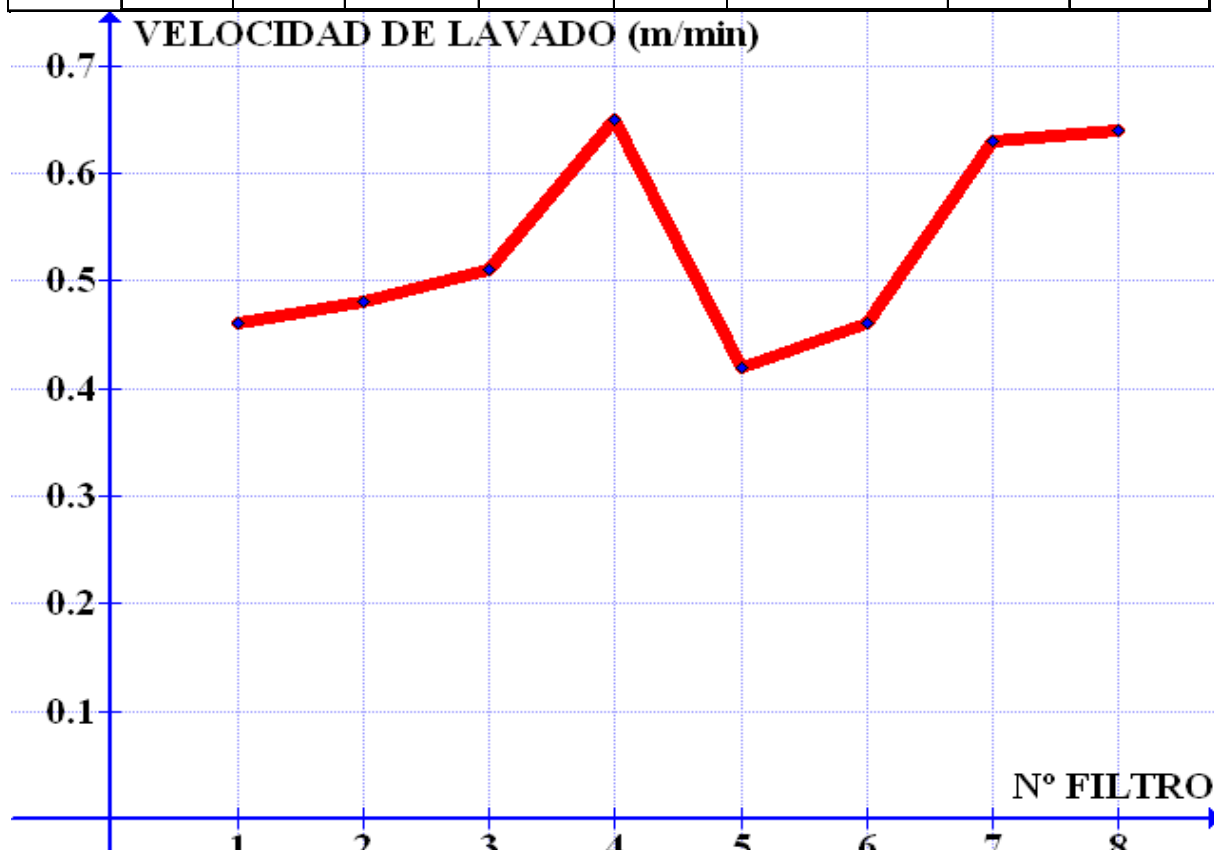


Fig. 51. Velocidad en m/min del lavado de los filtros



También tenemos una representación de la velocidad de lavado en $\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$ (Fig.52).

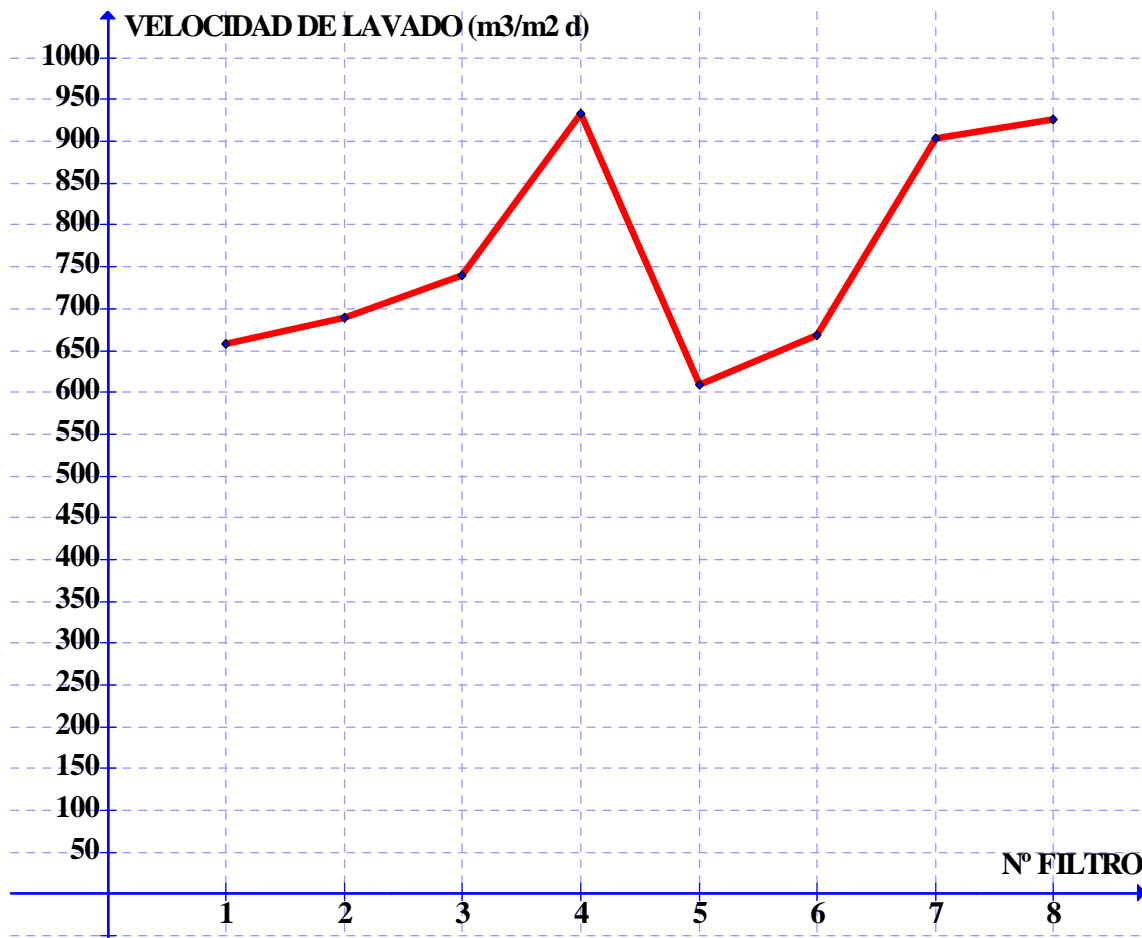


Fig. 52. Velocidad en $\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$ del lavado de los filtros

7.4 CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FILTRANTE

7.4.1 GRANULOMETRÍA DEL MEDIO FILTRANTE

Para este ensayo la selección de los tamices se hizo en forma ordenada de manera tal que poder recabar toda la información necesaria, la cual es mayor mientras más tamices utilizemos.



Este análisis se realizó en el laboratorio de la Empresa Industrias Guapán, quienes nos facilitaron los tamices.

El cuadro 32 contiene los resultados del análisis granulométrico de la antracita de los ocho filtros en operación. Con los datos contenidos en el cuadro 32 se obtuvo el cuadro 33 que contiene información sobre el porcentaje acumulado que pasa de antracita, los cuales se representa en la Figura 53.

Cuadro 32. Análisis granulométrico de la antracita de los ocho filtros

Tamiz	Número de Apertura (mm)	NUMERO DE FILTRO								
		Nº1			Nº2			Nº3		
		PESO QUE PASA POR EL TAMIZ (g)	% PESO QUE PASA POR EL TAMIZ	% ACUMULADO	PESO QUE PASA POR EL TAMIZ (g)	% PESO QUE PASA POR EL TAMIZ	% ACUMULADO	PESO QUE PASA POR EL TAMIZ (g)	% PESO QUE PASA POR EL TAMIZ	% ACUMULADO
20	0074	1,26	0,109	0,109	0,98	0,099	0,099	0,5	0,05	0,05
10	015	3,85	0,33	0,441	2,67	0,28	0,37	4,51	0,451	0,506
50	03	4,11	0,35	0,797	1,69	0,170	0,57	2,451	2,453	2,999
20	084	6,75	5,80	6,477	8,81	8,424	8,961	1,938	1,999	4,998
14	141	21,45	18,70	25,177	31,414	31,56	40,57	48,32	48,66	53,623
10	2	81,23	70,181	95,38	55,09	5,886	95,484	30,46	30,02	92,65
8	238	2,785	2,46	97,64	1,653	1,62	98,05	7,057	7,062	99,757
6	336	2,156	1,83	99,67	1,713	1,72	99,87	0,66	0,066	99,83
4	476	4,32	0,373	100,00	1,82	0,183	100,00	1,77	0,177	100,00
PESO TOTAL (g)		115,48			99,86			99,33		
PORCENTAJE TOTAL			100			10			10	
PESO TOTAL (g)			118,52			100			100	



Tamiz	Apertura	NUMERO DE FILTRO								
		Nº4			Nº5			Nº6		
		PESO QUE PASA POR EL TAMIZ	% PESO QUE PASA POR EL TAMIZ	% ACUMULADO	PESO QUE PASA POR EL TAMIZ	% PESO QUE PASA POR EL TAMIZ	% ACUMULADO	PESO QUE PASA POR EL TAMIZ	% PESO QUE PASA POR EL TAMIZ	% ACUMULADO
200	0,074	0,86	0,086	0,086	0,76	0,076	0,076	1,85	0,185	0,185
100	0,15	1,58	0,158	0,244	3,14	0,316	0,392	4,2	0,42	0,608
50	0,3	17,80	1,78	2,027	12,0	0,122	0,514	2,28	0,229	0,838
20	0,84	122,40	12,257	14,284	55,80	5,617	6,131	74,8	7,501	8,339
14	1,41	236,0	23,38	41,62	258,0	24,88	30,99	352,2	32,78	41,07
10	2,00	507,0	51,11	95,83	602,0	64,09	94,38	562,8	52,90	98,97
8	2,38	293,0	29,1	98,75	247,0	24,8	96,81	198,7	19,8	95,95
6	3,36	123,0	12,37	100,00	263,0	26,69	99,50	219	2,19	98,91
4	4,76	0,00	0,00	100,00	45,0	0,45	100,00	10,8	1,08	100,00
PESO TOTAL FINAL (g)		987,4			989,6			994,3		
PORCENTAJE TOTAL		100			100			100		
PESO INICIAL (g)		100			100			100		

Tamiz	Apertura (mm)	NUMERO DE FILTRO					
		Nº 7			Nº 8		
		PESO QUE PASA POR EL TAMIZ	% PESO QUE PASA POR EL TAMIZ	% ACUMULADO	PESO QUE PASA POR EL TAMIZ	% PESO QUE PASA POR EL TAMIZ	% ACUMULADO
200	0,074	1,12	0,116	0,116	2,22	0,225	0,225
100	0,15	2,71	0,280	0,396	1,25	0,127	0,351
50	0,3	1,23	0,127	0,524	2,09	0,212	0,563
20	0,84	146,38	15,148	15,672	131,59	13,323	13,886
14	1,41	302,42	31,296	46,968	242,32	24,534	38,420
10	2,00	480,56	49,731	96,700	578,11	58,532	96,951
8	2,38	12,59	1,303	98,003	24,56	2,487	99,438
6	3,36	19,3	1,997	100,000	5,55	0,562	100,000
4	4,76	0	0,000	100,000	0	0,000	100,000
PESO TOTAL FINAL (g)		966,31			987,69		
PORCENTAJE TOTAL		100			100		
PESO INICIAL (g)		971,33			1000		



Cuadro 33. Porcentaje que pasa de antracita (Acumulado)

PORCENTAJE QUE PASA DE ANTRACITA (ACUMULADO)									
Número de Milla	Apertura(mm)	NÚMERO DE FILTRO							
		Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6	Nº7	Nº8
4	476	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
6	336	99627	99817	99823	100000	99540	98911	100000	100000
8	238	97764	98095	99757	98763	96871	95975	98003	99488
10	200	9536	95484	92665	9582	9438	9398	96700	96951
14	141	25177	40537	53623	41682	30989	41047	46988	38420
20	084	6477	8961	4988	8961	6131	8339	15672	13886
50	030	080	0537	2989	203	051	084	0524	0563
100	015	0441	0367	0506	0244	0392	0608	0396	0351
200	0074	0109	0089	0065	0086	0076	0186	0116	0225

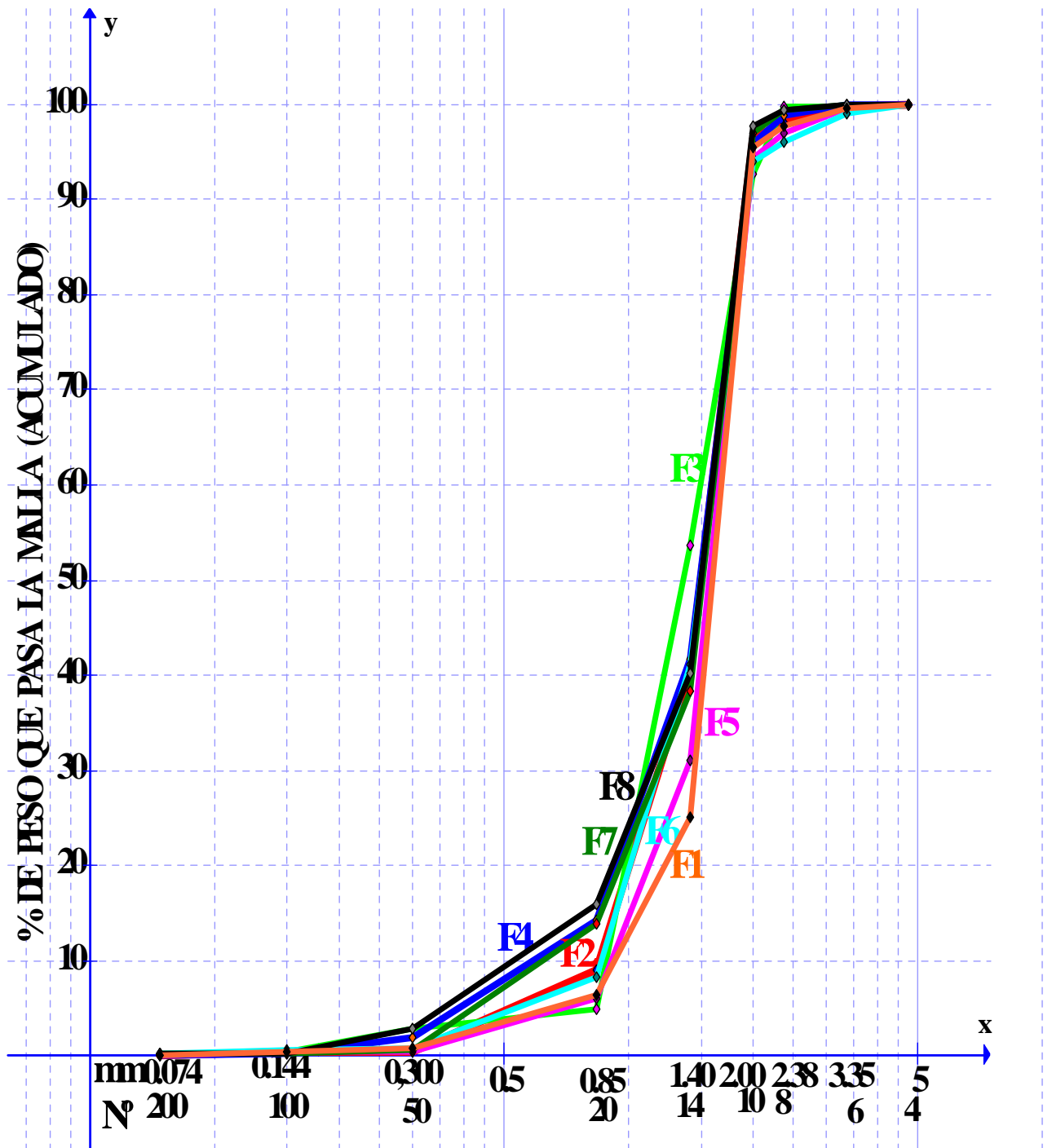


Fig. 53 Curva granulométrica de la antracita

Los aparatos usados para la toma de muestra de material filtrante para la determinación de la granulometría del material del medio filtrante se muestran en las figuras 54a y 54b.

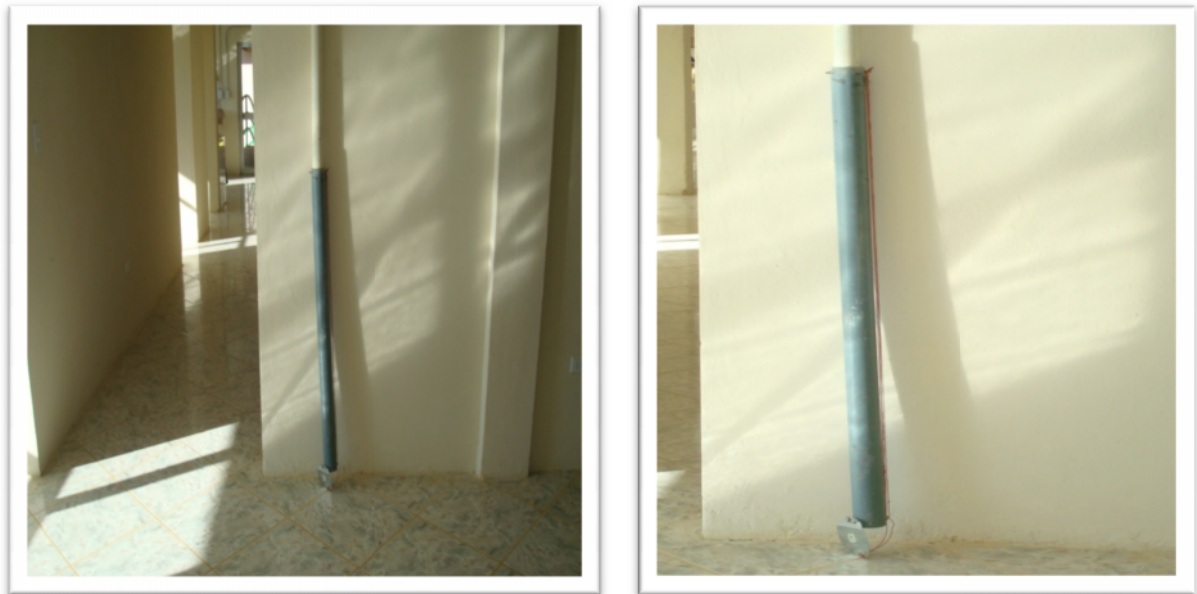


Fig. 54a. Muestreador para el medio filtrante



Fig. 54b. Instantes en que se vertía la muestra extraída

Los tamices empleados para la determinación de la granulometría del material del medio filtrante se muestran en la figura 55.



Fig. 55. Tamices empleados en la determinación de la granulometría del medio filtrante

De la figura 53 podemos determinar el diámetro o tamaño efectivo (D10), así como el coeficiente de uniformidad de la antracita que integra el medio filtrante de los ocho filtros, en el cuadro 34 se muestra dichos resultados.

Cuadro 34. Características granulométricas de la antracita

CARACTERÍSTICAS	Nº DE FILTRO							
	1	2	3	4	5	6	7	8
D10 TE	0,9	0,8	0,8	0,6	0,9	0,9	0,6	0,61
D60	1,7	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,5	1,5
CU	1,89	1,88	1,88	2,50	1,78	1,78	2,50	2,46

D10: Tamaño efectivo CU: Coeficiente de uniformidad

El aparato mostrado en la figura 54 permitió únicamente recoger antracita; ya que al introducir el tubo en el lecho, este se introdujo solamente unos 40 cm extrayendo exclusivamente



antracita, razón por la cual no se pudo obtener muestra de arena de los filtros. Como el cambio del material filtrante de los filtros 4, 7 y 8 se hizo hace tres meses de la fecha en que se realizó este ensayo, se efectuó el análisis granulométrico con arena que sobró de dicho cambio, a esta arena lo llamaremos A1. También en la PTM se tiene remanente de arena que se colocó cuando se cambió los filtros 1, 2, 3, 5, y 6, con ésta se realizó también un análisis granulométrico, a esta arena la llamaremos A2.

Con la información del análisis granulométrico tanto de A1 como de A2, se puede obtener información para saber al menos saber como estaba la granulométrica de estas arenas cuando entraron nuevamente en operación estos medios filtrantes. Dicha información consta en el cuadro 35.

Cuadro 35. . Análisis granulométrico de la arena. Porcentaje que pasa de arena (Acumulado)

Número de Malla	Apertura (mm)	NUMERO DE FILTRO						
		A2 ARENA DE LOS FILTROS 1,2,3,5,6			A1 ARENA DE LOS FILTROS 4,7,8			
		PESO QUE PASA POR EL TAMIZ	% PESO QUE PASA POR EL TAMIZ	% ACUMULADO	PESO QUE PASA POR EL TAMIZ	% PESO QUE PASA POR EL TAMIZ	% ACUMULADO	
200	0,074	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000	
100	0,15	0,45	0,090	0,090	0	0,000	0,000	
50	0,3	1,21	0,242	0,333	9,52	1,907	1,907	
20	0,84	42,53	8,522	8,855	155,63	31,182	33,090	
14	1,41	368,73	73,888	82,743	212,24	42,525	75,614	
10	2	86,12	17,257	100,000	121,71	24,386	100,000	
PESO TOTAL (g)		499,04	100		499,1	100		
PESO INICIAL (g)		500			500			



Con los datos del % acumulado y la apertura del tamiz se obtiene la figura 56.

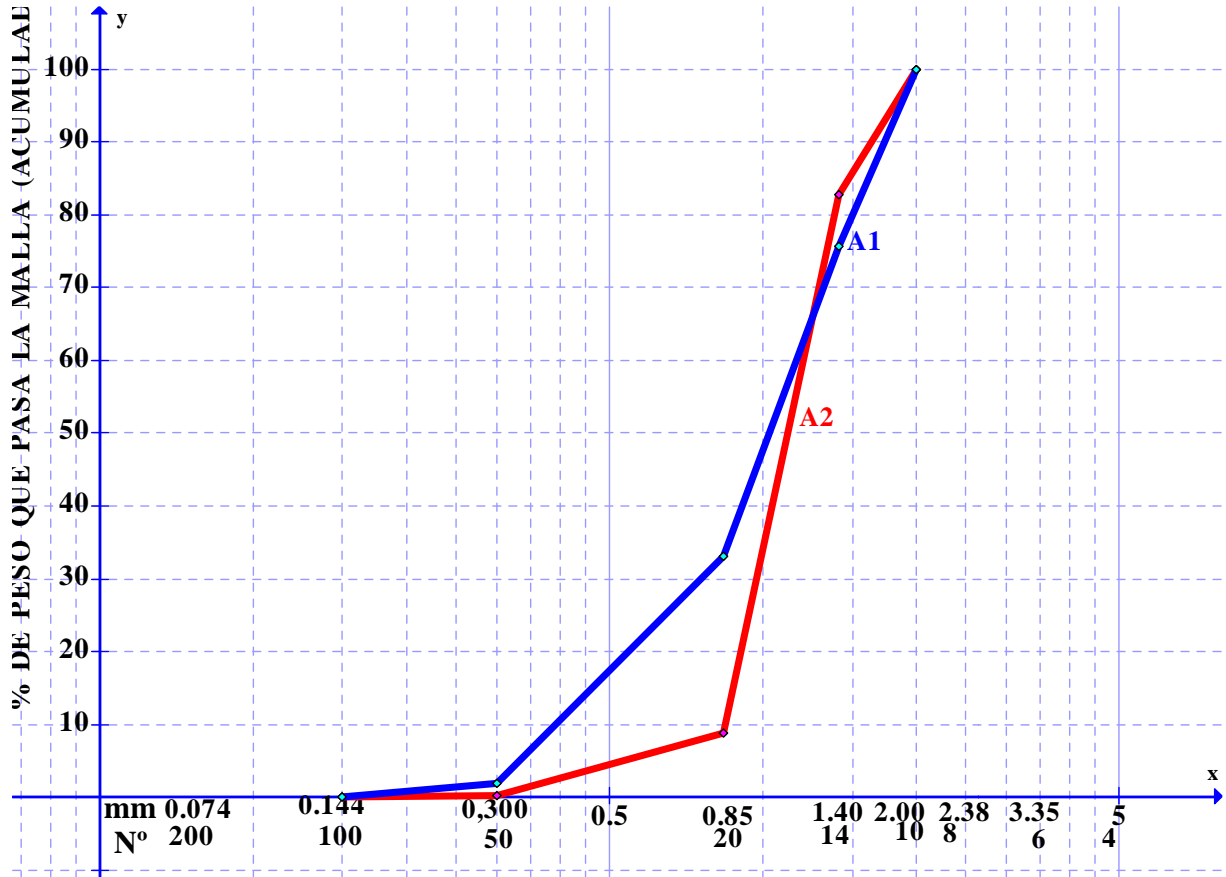


Fig. 56. Curva granulométrica de la arena

De la figura 56 podemos determinar el diámetro o tamaño efectivo (D10), así como el coeficiente de uniformidad de la arena que integra el doble medio filtrante de los filtros, en el cuadro 36 se muestra dichos resultados.

Cuadro 36. Características granulométricas de la arena

CARACTERISTICAS	Nº DE MUESTRA	
	A2 ARENA DE LOS FILTROS 1,2,3,5,6	A1 ARENA DE LOS FILTROS 4,7,8
D10 TE	0,85	0,39
D60	1,63	1,72
CU	1,92	4,41



7.4.2 BOLAS DE BARRO

En este ensayo luego de realizado el procedimiento indicado en el apartado 5.3.2, solo se obtuvo bolas de lodo en los filtros 2,3,5 y 6 pero en pequeñas cantidades casi despreciables, se podría decir que el único filtro que presentó bolas de lodo fue el filtro N° 5.

El cuadro 37 se muestra los resultados del ensayo del contenido de bolas de barro en los ocho filtros en estudio.

Cuadro 37. Porcentaje de Bolas de lodo en las unidades de filtración

FECHA	Nº FILTRO	VOLUMEN DE LA MUESTRA Vm (ml)	INCREMENTO DE VOLUMEN EN LA PROBETA ΔV (ml)	% DE BOLAS DE LODO ($\Delta V/V_m$) x 100
06/08/2009	1	500	0	0
05/08/2009	2	500	0	0
05/08/2009	3	500	0	0
04/08/2009	4	500	0	0
04/08/2009	5	500	0,5	0,1
03/08/2009	6	500	0	0
03/08/2009	7	500	0	0
06/08/2009	8	500	0	0

En las figuras desde la 57a hasta la 57d se presenta el desarrollo de este ensayo.



Fig. 57a. Instante en que se tomaba

Fig.57b. Fig. 57d. Presencia de bolsa de lodo
una muestraFig. 57c. Malla de 2mm usado para la
determinación de bolas de lodoFig.57d. Bolas de lodos que fueron extraídas
de la muestra del filtro N° 5

Como prácticamente no se encontró bolas de lodo entonces se procedió a determinar el contenido de sedimento que puede contener el medio filtrante, para la determinación del mismo se desarrolló el siguiente método:



Objetivo

Determinar el porcentaje de sedimento contenido en el medio filtrante.

Materiales

- Un equipo de muestreo
- Balanza

Procedimiento

- 1) Lavar normalmente el filtro y drenar el agua por debajo de la superficie de la antracita.
- 2) Retirar una muestra de la superficie del lecho filtrante
- 3) Pesar la totalidad de la muestra extraída (P)
- 4) Lavar la muestra hasta que quede libre de sedimento y pesar la muestra lavada (PA)
- 5) Determinar el porcentaje de sedimento contenido en la muestra:

El cuadro 38 se muestra los resultados del ensayo del contenido de sedimento en los ocho filtros en estudio.



Cuadro 38. Porcentaje de Sedimento en las unidades de filtración

% SEDIMENTO								
Nº FILTRO	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
PESO DE LA MUESTRA P (g)	1132.01	858.94	900.46	876.46	727.5	774.83	773.99	873.68
PESO DE LA MUESTRA LAVADA PA (g)	1127.63	854.86	898.15	869.98	722.41	770.68	772.13	870.98
% DE SEDIMENTO (PA/P) x 100	0.387	0.475	0.257	0.739	0.700	0.536	0.240	0.309
PESO DE LA MUESTRA P (g)	773.33	881.19	769.98	757.54	772.43	880.1	783.56	772.05
PESO DE LA MUESTRA LAVADA PA (g)	769.06	876.177	766.89	754.64	766.06	876.03	780.4	769.94
% DE SEDIMENTO (PA/P) x 100	0.552	0.569	0.401	0.383	0.825	0.462	0.403	0.273
PESO DE LA MUESTRA P (g)	761.22	754.19	778.82	247.61	772.9	766.37	759.91	777.92
PESO DE LA MUESTRA LAVADA PA (g)	757.69	751.53	775.27	245.73	767.3	761.75	758.36	776.05
% DE SEDIMENTO (PA/P) x 100	0.464	0.353	0.456	0.759	0.725	0.603	0.204	0.240
PESO DE LA MUESTRA P (g)	758.95	881.82	864.28	679.49	769.52	768.68	814.57	783.23
PESO DE LA MUESTRA LAVADA PA (g)	754.49	878.66	861.05	673.87	763.21	762.84	812.48	780.98
% DE SEDIMENTO (PA/P) x 100	0.588	0.358	0.374	0.827	0.820	0.760	0.257	0.287
PROMEDIO	0.4976	0.4387	0.3718	0.6771	0.7672	0.5902	0.2760	0.2775
FECHA	06/08/2009	05/08/2009	05/08/2009	04/08/2009	04/08/2009	03/08/2009	03/08/2009	06/08/2009

En resumen tenemos:

Cuadro 39. Porcentaje de sedimento encontrado en los filtros

FECHA	Nº FILTRO	% SEDIMENTO
06/08/2009	1	0,50
05/08/2009	2	0,44
05/08/2009	3	0,37
04/08/2009	4	0,68
04/08/2009	5	0,77
03/08/2009	6	0,59
03/08/2009	7	0,28
06/08/2009	8	0,28



El cuadro 39 puede ser representado en la figura 58.

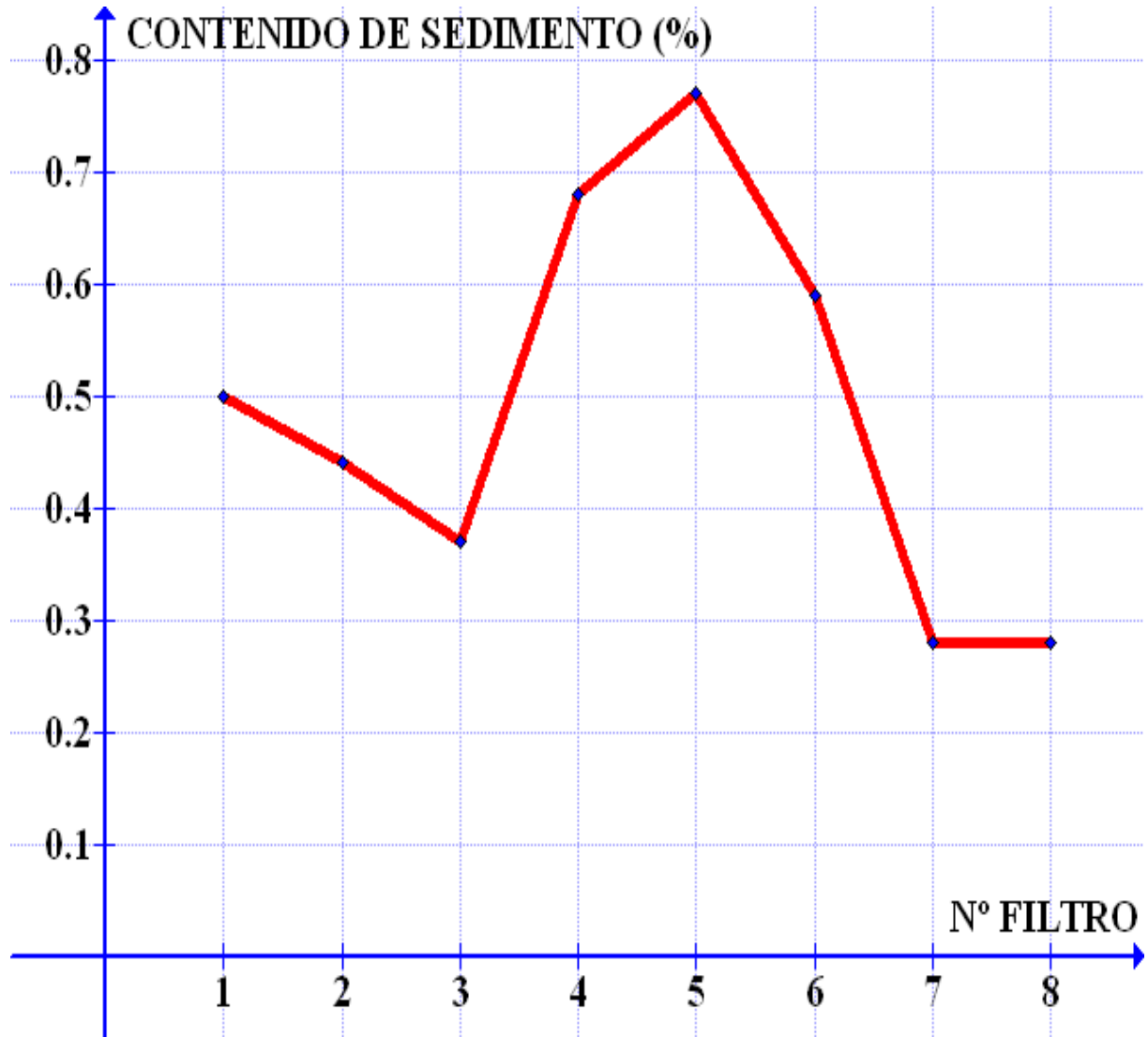


Fig. 58. Contenido de sedimento encontrado en los filtros

7.4.3 ESPESOR DEL MEDIO FILTRANTE

Se determinó la altura del medio filtrante en cuatro puntos, los resultados se muestran en el cuadro 40.



Cuadro 40. Espesor del medio filtrante

ESPESOR DEL MEDIO FILTRANTE (m)																
Nº FILTRO	F1		F2		F3		F4		F5		F6		F7		F8	
	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D
ALTURAS	0,695	0,72	0,75	0,745	0,75	0,745	0,625	0,57	0,75	0,7450	0,7600	0,785	0,735	0,725	0,715	0,72
MEDIDAS	0,68	0,7	0,74	0,755	0,75	0,735	0,68	0,565	0,755	0,7300	0,7550	0,78	0,735	0,73	0,71	0,725
EN CUATRO PUNTOS	0,68	0,695	0,75	0,73	0,745	0,73	0,625	0,56	0,755	0,7400	0,7500	0,775	0,735	0,715	0,71	0,72
PROMEDIO POR LADO	0,68	0,70	0,74	0,74	0,75	0,74	0,68	0,56	0,75	0,74	0,75	0,78	0,74	0,73	0,71	0,72
PROMEDIO POR FILTRO	0,69		0,74		0,74		0,59		0,75		0,77		0,73		0,72	

I: Izquierdo D: Derecho

Los resultados del cuadro 40 se representan en la figura 59

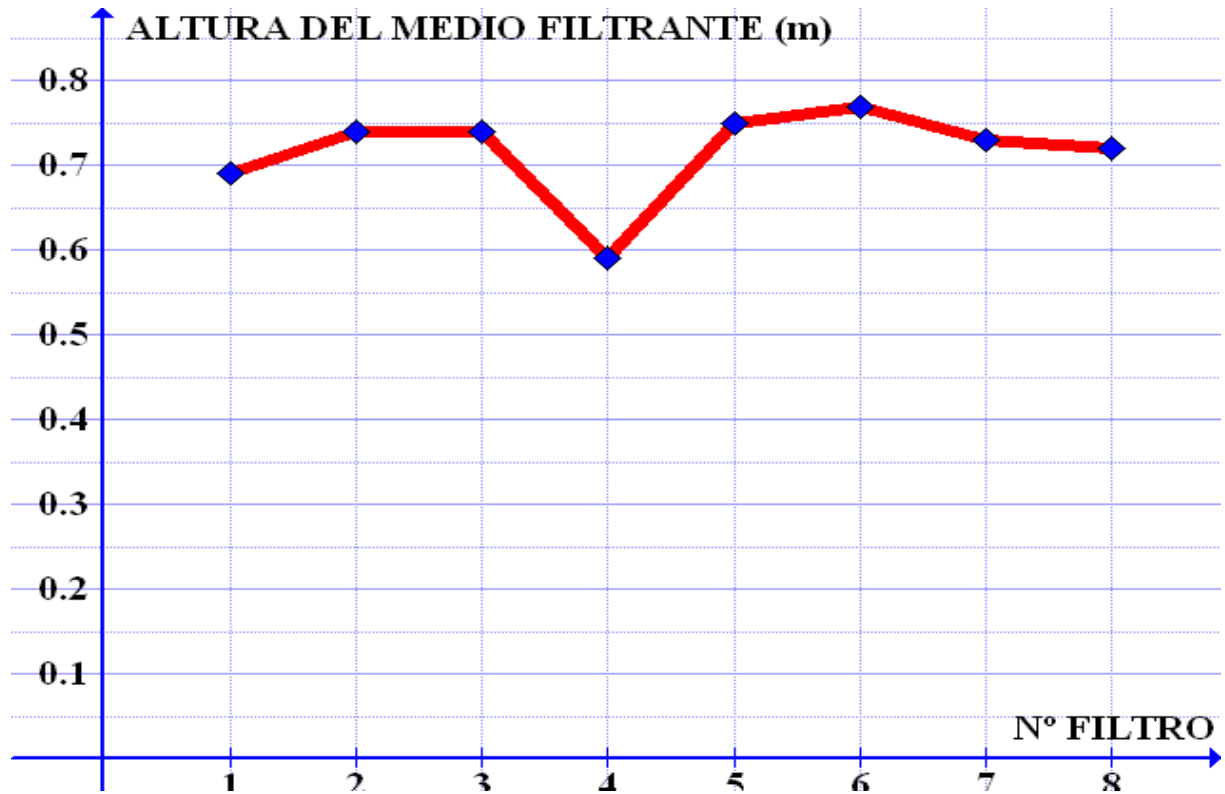
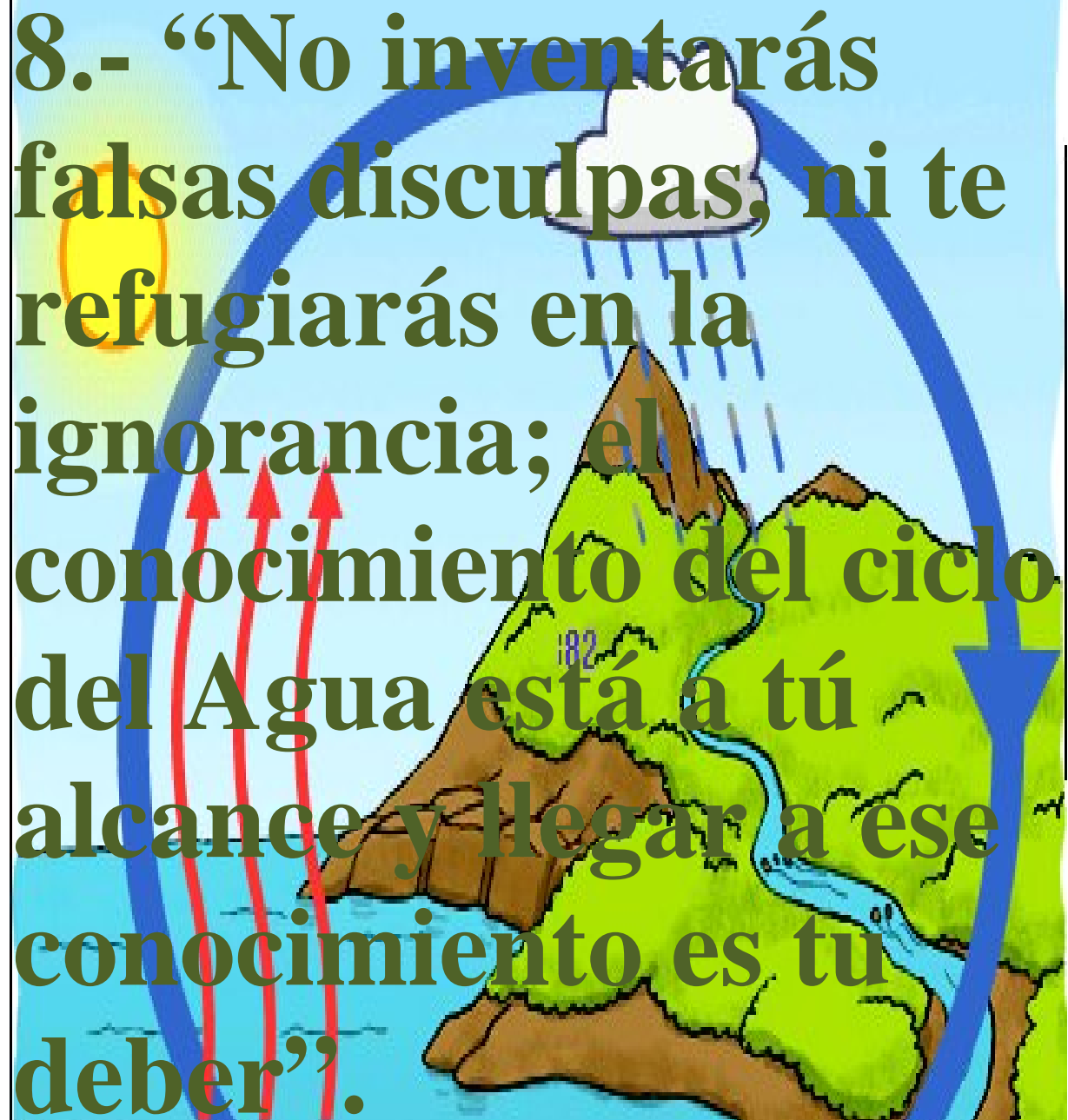


Fig. 59. Representación del espesor del medio filtrante.

A diagram of the water cycle is shown in the background. It features a sun on the left, a cloud with rain falling on a mountain range in the center, and a river flowing from the mountain down to the right. Red arrows indicate evaporation from the water body, and a blue arrow indicates precipitation. The text is overlaid on this diagram.

8.- “No inventarás falsas disculpas, ni te refugiarás en la ignorancia; el conocimiento del ciclo del Agua está a tú alcance y llegar a ese conocimiento es tu deber”.

CAPITULO VIII



VIII. ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos de cada prueba se compararon con los parámetros de diseño contenidos en la memoria técnica del proyectista de la PTM, así como con los rangos recomendados por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

8.1 CARACTERISTICAS DE LA UNIDAD

8.1.1 ANALISIS DE LA OPERACIÓN DE LA BATERÍA CON TASA DECLINANTE

A continuación haremos una comparación de los resultados obtenidos en los ensayos con los parámetros de diseño y los rangos recomendados por la CEPIS, la misma que se presenta en el cuadro 41.

Cuadro 41. Análisis comparativo de la operación con tasa declinante

Requisitos para la operación de la batería con tasa declinante			
Parámetros	OPERACIÓN-PTM	DISEÑO	CEPIS
Nº Unidades	4	4	Mínimo 4
$uf_{m\acute{a}x} / uf_{prom}$	1.38	1.44	1,5



En la PTM cada filtro tiene una válvula que permite la entrada de agua decantada al mismo, este ingreso de agua decantada esta ubicado en un nivel inferior al nivel mínimo de operación de la batería, ya que el ingreso está en un $N=2809,05m$ y el nivel mínimo de operación tiene un $N=2811,48m$.

Interpretación de los resultados

Analizando estos criterios podemos decir que la PTM tiene dos baterías de cuatro filtros cada una con operación de Tasa Declinante.

Al representar gráficamente los datos de la velocidad de filtración presentados desde el cuadro 15 hasta el 20, se puede observar que siempre el filtro recién lavado es el que tiene una velocidad de filtración alta, mientras que el filtro que está por lavarse es el que tiene la velocidad de filtración mas baja.

Al observar las siguientes gráficas (Fig. 60, 61, 62, 63) que representan los valores de las velocidades de filtración de los cuadros 17, 18, 19 y 20 se puede apreciar que hay dos baterías; la primera curva que está a lado izquierdo representa la batería 1 y la de la derecha la batería 2, en estas se puede ver como en la batería donde no se encuentra el filtro que se lavó recientemente existe un decremento de la velocidad de



filtración respecto a los filtros anteriores haciendo notar la tasa declinante.

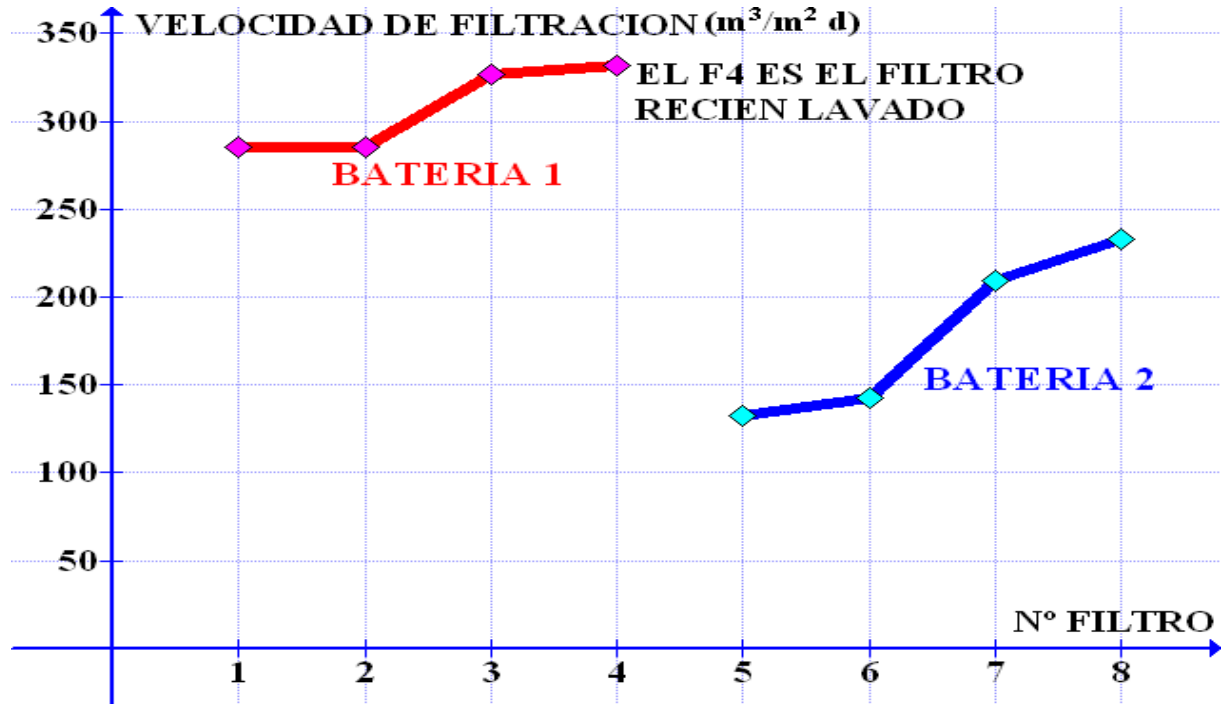


Fig. 60. Operación de los filtros con tasa declinante

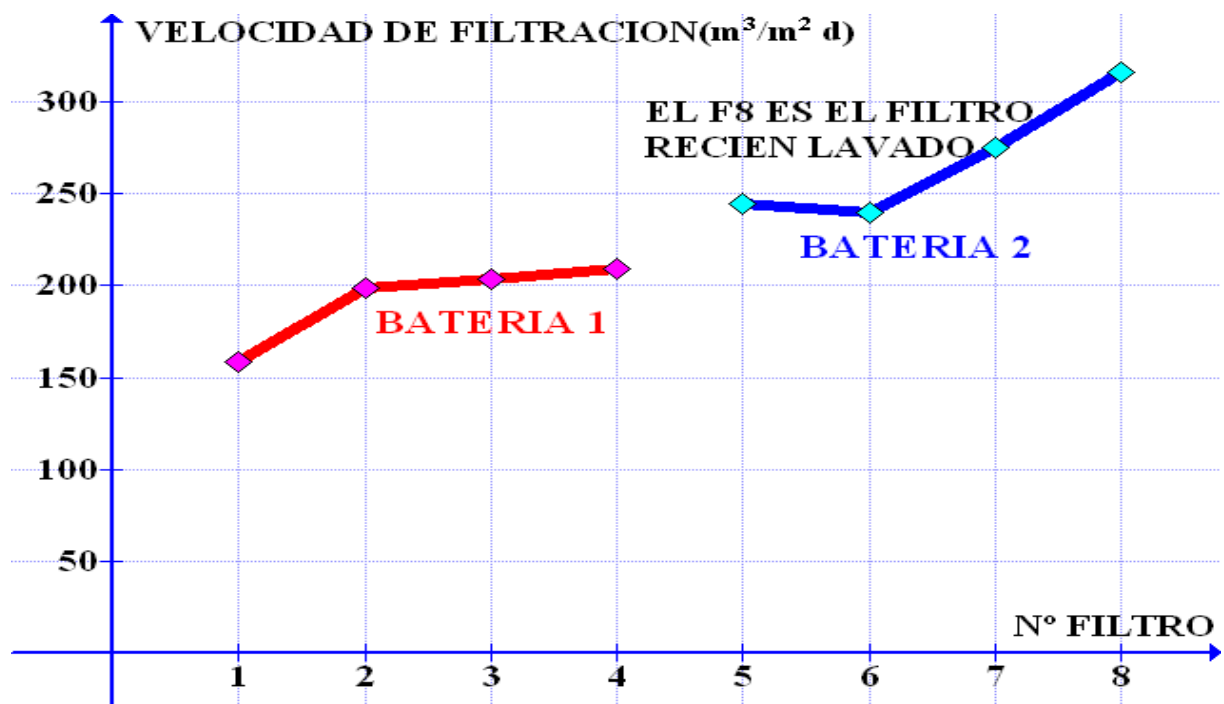


Fig. 61. Operación de los filtros con tasa declinante

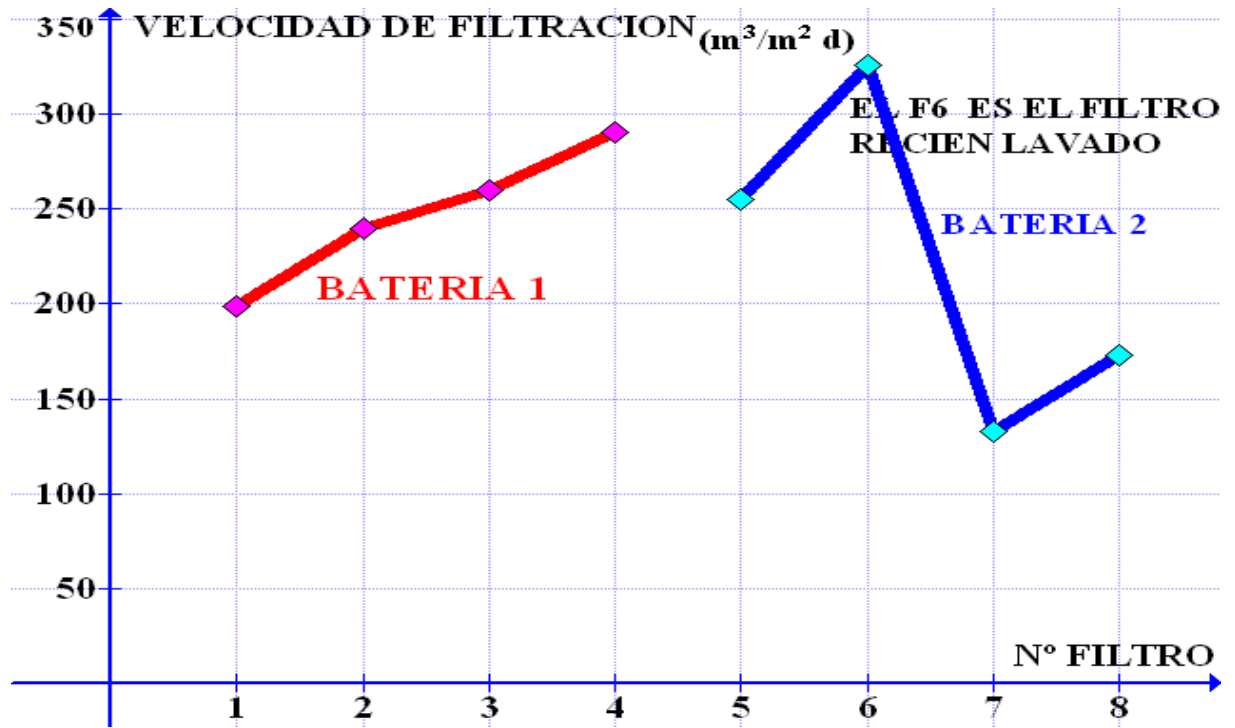


Fig. 62. Operación de los filtros con tasa declinante

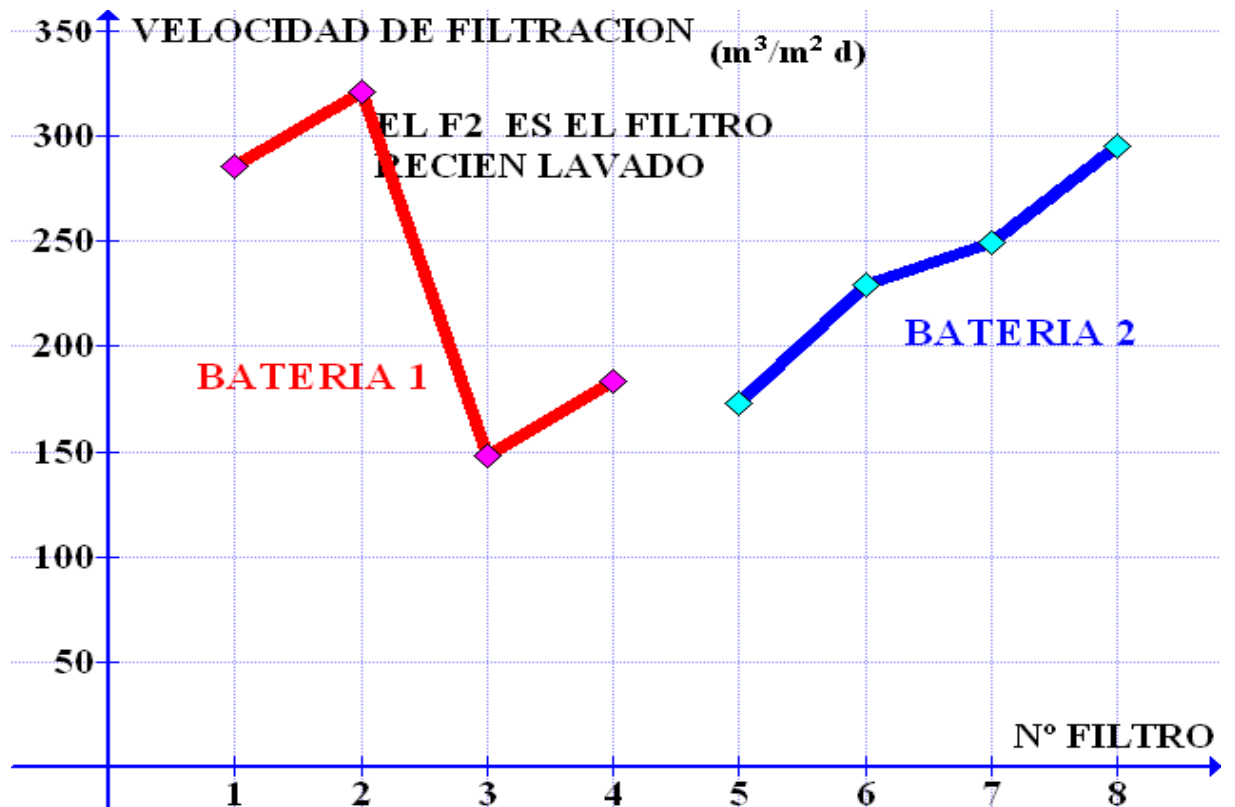


Fig. 63. Operación de los filtros con tasa declinante



8.1.2 ANALISIS DE LA BATERÍA DE FILTROS PARA QUE SEA AUTOLAVABLE

Interpretación de los resultados

Luego de realizar una inspección del sistema de operación se pudo comprobar que cada batería tiene un canal que interconecte la salida de todos los filtros que es el canal de interconexión, lo cual permite que efectivamente mientras se lava un filtro de la batería, los restantes le proporcionan el caudal suficiente para el retrolavado, es decir por lo menos tres filtros retrolavan a una unidad.

8.2 CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE FILTRACIÓN

8.2.1 ANALISIS DE LA VELOCIDAD DE FILTRACIÓN

En el promedio de las velocidades de filtración de cada unidad (Ver cuadro 22) se observa que los filtros 2, 4, 7 y 8 resultaron tener en promedio la máxima velocidad de filtración, esto es debido a que en los tres últimos filtros el medio filtrante fué recientemente sustituido por un medio nuevo, lo cual explica que dichos filtros presenten las velocidades de filtración más altas en comparación con el resto de las unidades.



Así mismo se puede observar que los filtros 1 y 5 son los que tienen el promedio más bajo de la velocidad de filtración, es hace pensar que esto se debe a que son siempre éstos los primeros filtros de cada batería en ser lavados respectivamente, así por ejemplo al lavar el F1 se sabe que los restantes filtros que integran esta batería que son el F2, F3 y F4 están también próximos a lavarse con lo cual estos tres últimos no abastecerían con un caudal suficiente para el lavado del F1; luego al lavar el F2 en cambio podríamos decir que el F1 al ser el inmediato anterior que fue lavado le proporciona conjuntamente con el F3 y el F4 un buen caudal para el lavado del F2; así mismo al lavar el F3, ya tanto el F1 como el F2 le ayudan a un mejor lavado del F3 ya que fueron recientemente lavados; y que decir del F4 donde todos los restantes filtros de esta batería fueron recientemente lavados; por lo tanto podríamos decir que el F1 tiene una baja velocidad de filtración respecto a los otros porque al lavar el mismo los restantes filtros no le estarían proporcionando el caudal necesario para su lavado quedando sedimento en el medio filtrante y reduciendo la velocidad de filtración.

De igual manera estaría sucediendo con el F5 en la otra batería; además podríamos acotar que en cambio los filtros F4 y F8 serían los filtros que mejor se estarían lavando, ya que



como se dijo al F4 le proporcionarían un buen caudal los filtros F1, F2, F3 que fueron recientemente lavados y al F8 le proporcionarían un buen caudal el F5, F6, F7 ya que fueron recientemente lavados en la segunda batería.

A continuación en el cuadro 42 se presenta tanto los parámetros de diseño así como los recomendados por el CEPIS y los obtenidos en los ensayos.

Cuadro 42. Análisis comparativo de la velocidad de filtración

Nº FILTRO	Requisitos de la velocidad de filtración			
	OPERACIÓN- PTM	DISEÑO	CEPIS	Unidades
1	217,60	225	240-360	m ³ /m ² d
2	234,60	225	240-360	m ³ /m ² d
3	289,00	225	240-360	m ³ /m ² d
4	295,80	225	240-360	m ³ /m ² d
5	293,25	225	240-360	m ³ /m ² d
6	205,70	225	240-360	m ³ /m ² d
7	236,30	225	240-360	m ³ /m ² d
8	231,20	225	240-360	m ³ /m ² d

Interpretación de los resultados

Las unidades fueron diseñadas con una tasa de filtración de 225 m³/m²/día, estando cercano del rango propuesto por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del



Ambiente (CEPIS) de 240-360 m³/m²/día, para filtración rápida de tasa declinante y filtros de doble medio filtrante.

Del análisis estadístico se obtuvo una tasa de filtración promedio de los ocho filtros de 250.43 m³/m²/día, teniendo presente que en este promedio están incluidos valores de los filtros que están por lavarse y que tienen una tasa de filtración baja, y el filtro recientemente lavado que tiene un mayor velocidad de filtración; entonces los filtros de la PTM están dentro del rango recomendado por el CEPIS y un poco superior al de diseño.

8.2.2 ANALISIS DE CALIDAD DEL FILTRADO INICIAL

Cuando las turbiedades iniciales son muy altas, se puede asumir que el filtro quedó mal lavado. Esto, por supuesto, no es una regla absoluta, pues cada filtro puede empezar la carrera con una cierta turbiedad que depende del estado del lecho filtrante, pero turbiedades por encima de las corrientes sí indican que faltó tiempo de lavado.

Interpretación de los resultados

A continuación en el cuadro 43 se exponen las recomendaciones del CEPIS en cuanto a la calidad del filtrado



inicial y los obtenidos en los ensayos, en cuanto a las características de la calidad de filtrado inicial no se menciona al respecto en la memoria de diseño.

Cuadro 43. Análisis comparativo de calidad de filtrado inicial

Nº FILTRO	Requisitos de la calidad de filtrado inicial				Unidades
	OPERACIÓN-PTM		DISEÑO	CEPIS	
	Sin rastrillar el medio filtrante	Con rastrillada del medio filtrante			
1	0,20-0,65	0.30-0.53	NE	<1	NTU
2	0,27-0,87	0.28-0.52	NE	<1	NTU
3	0,20-0,65	0.22-0.62	NE	<1	NTU
4	0,29-0,56	0.24-0.64	NE	<1	NTU
5	0,18-0,48	0.24-0.42	NE	<1	NTU
6	0,27-0,71	0.22-0.44	NE	<1	NTU
7	0,22-0,71	0.24-0.47	NE	<1	NTU
8	0,25-0,86	0.19-0.44	NE	<1	NTU

NE: No especifica

Analizando el cuadro anterior se puede observar que en cualquier caso rastrillado o no el medio filtrante en los primeros 30 minutos de filtrado de las unidades siempre se obtiene turbiedades muy por debajo de 1 NTU, promediando podríamos decir que se logra turbiedades de 0.4 NTU; lo que si se puede



notar es que al rastrillar el medio filtrante y luego de los 30 minutos que el filtro empieza a trabajar las turbiedades son un poco menores que cuando no se rastrilla el medio filtrante.

Por tanto podríamos decir que la calidad de filtrado inicial de las ocho unidades de filtración cumple con lo recomendado por la CEPIS.

8.2.3 DURACIÓN DE LAS CARRERAS DE FILTRACIÓN

Analizando el registro de operación de los filtros, se determinó que la tasa declinante está instalada correctamente ya que los filtros se lavan consecutivamente. El criterio que se emplea para lavar el filtro es que cuando se alcanza el nivel máximo marcado en la caja de agua sedimentada se procede al lavado de la unidad inmediatamente siguiente a la última en que fue lavada y así sucesivamente.

En seguida se exhibe en el cuadro 44 los criterios de la carrera de filtración tanto de diseño así como los recomendados por el CEPIS y los obtenidos en los ensayos.



Cuadro 44. Análisis comparativo de la carrera de filtración

Nº FILTRO	Requisitos de la Carrera de filtración				
	OPERACIÓN-PTM		DISEÑO	CEPIS	Unidades
Sin rastrillar	Con rastrillada				
1	29.62	33.77	NE	30-50	horas
2	31.33	34.30	NE	30-50	horas
3	30.81	34.19	NE	30-50	horas
4	30.98	34.66	NE	30-50	horas
5	28.98	34.24	NE	30-50	horas
6	30.02	33.50	NE	30-50	horas
7	31.17	33.12	NE	30-50	horas
8	31.04	33.23	NE	30-50	horas

NE: No específica

Interpretación de los resultados

La forma de operación en la PTM está produciendo carreras o intervalos de operación de 30 horas promedio cuando no se rastrilla el medio filtrante y de 33 horas promedio cuando si se rastrilla el medio filtrante, por lo que resulta beneficioso el rastrillar el medio filtrante, estas carreras de filtración están dentro de la recomendada por el CEPIS.

8.3 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE LAVADO

8.3.1 EXPANSIÓN DEL MEDIO FILTRANTE



La expansión del lecho es otro parámetro básico que debe observarse cuidadosamente durante el lavado. El lecho filtrante tenderá a expandirse, según la velocidad con la cual se inyecte el agua de lavado, y el diámetro del medio granular.

Interpretación de los resultados

La expansión obtenida en las ocho unidades se muestran en el cuadro 45 conjuntamente con los parámetros de expansión recomendados por el CEPIS y los criterios de diseño.

Cuadro 45. Análisis comparativo del medio filtrante

N° FILTRO	Expansión del medio filtrante				
	OPERACIÓN- PTM		DISEÑO	CEPIS	Unidades
	Sin rastrillar	Con rastrillada			
1	12,68	28,77	32,5	25-30	%
2	11,42	20,55	32,5	25-30	%
3	5,78	18,87	32,5	25-30	%
4	33,82	37,81	32,5	25-30	%
5	5,20	15,86	32,5	25-30	%
6	8,27	14,94	32,5	25-30	%
7	22,27	35,66	32,5	25-30	%
8	23,91	40,46	32,5	25-30	%

Los valores de expansión obtenidos cuando no se rastrilla el medio filtrante están muy por debajo del parámetro de diseño y



por el recomendado por el CEPIS, a excepción de los filtros F4, F7, F8, debido a que fueron recientemente restituidos; pero los valores de expansión obtenidos cuando se rastrilló el medio están en su mayoría cercano a lo recomendado por CEPIS (25-30%) y del parámetro de diseño y algunos como el F4, F7 y F8 están por encima debido a lo ya explicado anteriormente.

La expansión más baja se obtuvo en los filtros 5 y 6 respectivamente, esto puede deberse a que cuando se cambió el medio filtrante de los filtros a inicios del año 2007 en la batería 2 sólo se cambió de los filtros 5 y 6 y los otros dos filtros de esta batería se cambiaron en abril de este año, razón por la cual fueron estos filtros los que no se lavaron a plenitud debido justamente a que el F7 y el F8 no operaron durante estos dos años en forma adecuada debido a la falta de estratificación de sus medios filtrantes, a la fecha de desarrollar estos ensayos ya se renovaron los medios filtrantes por lo cual estos últimos tienen una mejor expansión respecto a los primeros.

La expansión del lecho filtrante está en relación directa con la velocidad de lavado, la expansión exagerada, no beneficia al lavado, pues impide el roce o frotamiento de unos granos con



otros, evitando el desprendimiento de la película adherida a ellos durante el proceso de filtración.

A todo esto hay que acotar que cuando se cambió el medio filtrante entre finales del año 2006 e inicios del 2007 de los filtros: 1, 2, 3, 5, 6 no se puso lo recomendado en el diseño que era de 50 cm de antracita colocándose solamente 45cm; en cambio a mediados de este se restituyó los medios de los filtros faltantes, pero así mismo en el F4 solo se instaló 30 cm de antracita, razón por la cual el F4 presenta un alta expansión sea sin rastrillar o con rastrillando el medio filtrante, y en el F7 y F8 igualmente se colocó únicamente 45cm de antracita.

8.3.2 DURACIÓN DEL PROCESO DE LAVADO

El tiempo de lavado también varía con la calidad del agua cruda. En la época de lluvia, cuando la turbiedad es alta, el tiempo de lavado necesario suele ser mayor que en época de verano.

Interpretación de los resultados

Cuando se hizo el lavado de los filtros sin rastrillar el medio filtrante, la turbiedad del agua de lavado aumentó rápidamente al principio, llegando a valores entre los 150 y 200 NTU, a



medida que el lecho se fue limpiando, fue disminuyendo hasta alcanzar cifras inferiores a 20 unidades de turbiedad los cuales decrecen lentamente aunque se prolongue por largo tiempo el lavado.

Al estudiar las curvas de las figuras 47 y 48 se puede determinar que el tiempo adecuado de lavado es de 20 minutos; el tiempo actual utilizado para el lavado de filtros en la PTM es de 15 minutos.

En conformidad a resultados obtenidos de la prueba, el tiempo óptimo de lavado para la batería de filtros, resultó ser de veinte minutos, debido a que se puede observar que a partir de este tiempo en adelante, no se obtiene un descenso considerable de turbiedad del agua de lavado, de lo contrario se estaría desperdiciando agua de servicio.

También se realizó el lavado de los filtros pero rastrillando el medio filtrante, la turbiedad del agua de lavado aumentó rápidamente al principio, llegando a valores superiores a los 300 NTU, se pudo observar que cerca de los 7 minutos ya la turbiedad era la misma como si no se hubiese rastrillado el lecho aproximadamente entre 50 y 70 NTU, razón por la cual se hizo nuevamente un rastrillado en ese tiempo y se pudo determinar que nuevamente subió la turbiedad llegando a



valores entre los 120 y 150 NTU luego de lo cual descendió hasta alcanzar cifras inferiores a 20 unidades de turbiedad a los 18 minutos, es decir que rastillando se pudo sacar más sedimento y en un tiempo menor que si no se hubiese rastillado.

En seguida presentamos en el cuadro 46 las medidas tanto de diseño así como los recomendados por el CEPIS y los obtenidos en los ensayos.

Cuadro 46. Análisis comparativo de la duración de lavado.

Nº FILTRO	Tiempo óptimo de lavado				
	OPERACIÓN- PTM		DISEÑO	CEPIS	Unidades
	Sin rastrillar	Con rastrillada			
1	20	18	10-12	10-15	min
2	20	18	10-12	10-15	min
3	20	18	10-12	10-15	min
4	20	15	10-12	10-15	min
5	20	18	10-12	10-15	min
6	20	18	10-12	10-15	min
7	20	15	10-12	10-15	min
8	20	15	10-12	10-15	min

Por tanto podemos decir que al no rastrillar el medio filtrante el tiempo óptimo de lavado sería de 20 minutos, pero si



rastrillamos el medio al inicio del lavado, el tiempo óptimo de lavado sería de 18 minutos para los filtros cuyo medio fueron anteriormente cambiados y de 15 minutos para los filtros que fueron recientemente cambiados los medios filtrantes y de esta manera se podría decir que sólo en los filtros recién cambiados el lecho filtrante el tiempo de lavado estaría cerca del criterio de diseño y de lo recomendado por el CEPIS.

8.3.3 VELOCIDAD DE LAVADO

La velocidad de lavado recomendado por Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) oscila en un rango de 0.6-0.8 m/min, pudiendo estimarse que la velocidad adecuada en m/min es igual al diámetro efectivo de la arena (mm). Según parámetros de diseño la velocidad de lavado deberá ser de 0.625 m/min, el cual se encuentra dentro del rango sugerido por CEPIS.

Interpretación de los resultados

En seguida presentamos en el cuadro 47 los parámetros tanto de diseño así como los recomendados por el CEPIS y los obtenidos en los ensayos.



Cuadro 47. Análisis comparativo de la velocidad de lavado

Nº FILTRO	Velocidad de lavado			
	OPERACIÓN- PTM	DISEÑO	CEPIS	Unidades
1	0,46	0.625	0.6-0.8	m /min
2	0,48	0.625	0.6-0.8	m /min
3	0,51	0.625	0.6-0.8	m /min
4	0,65	0.625	0.6-0.8	m /min
5	0,42	0.625	0.6-0.8	m /min
6	0,46	0.625	0.6-0.8	m /min
7	0,63	0.625	0.6-0.8	m /min
8	0,64	0.625	0.6-0.8	m /min

En los filtros 4, 7 y 8 se obtuvieron la mayor velocidad de lavado y que están en lo recomendado por la CEPIS y en la memoria de diseño, en cambio los restantes filtros presentaron una velocidad menor de lavado y que están por debajo de lo recomendado por la CEPIS y en la memoria de diseño.

Ningún filtro presentó velocidades de lavado exageradamente altas y esto evita que haya una exagerada expansión del lecho filtrante esto a su vez impide la pérdida del material filtrante. Los filtros que fueron cambiados el medio filtrante hace más de dos años son los que presentan velocidades de lavado baja, lo que hace pensar que estos filtros no están lavando correctamente debido a una falta de una ideal velocidad de



lavado lo que implica también como ya vimos anteriormente que no hay una buena expansión que afecta el medio filtrante y a un lavado adecuado.

8.4 CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FILTRANTE

8.4.1 GRANULOMETRÍA DEL MEDIO FILTRANTE

A medida que un filtro se va lavando repetida veces se va perdiendo el medio filtrante ya sea por el canal de lavado o por los drenes. Este problema es agudo cuando la planta apenas entra en funcionamiento, sobre todo si no se ha tenido la precaución de deshacerse de las partículas más finas o livianas. De cualquier manera la granulometría del lecho cambia con el tiempo, en especial en la capa superior.

Interpretación de los resultados

Del análisis granulométrico de la antracita se puede extraer el cuadro 48 que muestra los resultados de la prueba y que se comparan con los parámetros de diseño y con los recomendados por el CEPIS, lo cual establece lo siguiente:



Cuadro 48. Análisis comparativo de la granulometría de la antracita

N° FILTRO	CARACTERISTICAS DE LA ANTRACITA					
	Tamaño efectivo (mm)			Coeficiente de de uniformidad		
	OPERACIÓN -PTM	DISEÑO	CEPIS	OPERACIÓN -PTM	DISEÑO	CEPIS
1	0.90	0.90	0.75 - 0.9	1.89	1.60	1.5
2	0.80	0.90	0.75 - 0.9	1.88	1.60	1.5
3	0.80	0.90	0.75 - 0.9	1.88	1.60	1.5
4	0.60	0.90	0.75 - 0.9	2.50	1.60	1.5
5	0.90	0.90	0.75 - 0.9	1.78	1.60	1.5
6	0.90	0.90	0.75 - 0.9	1.78	1.60	1.5
7	0.60	0.90	0.75 - 0.9	2.50	1.60	1.5
8	0.60	0.90	0.75 - 0.9	2.46	1.60	1.5

El tamaño ó diámetro efectivo (de) de la antracita de los filtros 1, 5 y 6 resultaron ser iguales al de diseño; los filtros 2 y 3 están dentro de lo recomendado por el CEPIS, pero en cambio el tamaño o diámetro efectivo del lecho filtrante, de los filtros 4, 7 y 8 están fuera del rango recomendado por la CEPIS y tampoco concuerda con las características de diseño. Es decir la antracita de los filtros 4, 7 y 8 es muy fina. Al tener una antracita de menor tamaño, el lecho tiende a expandirse



mayormente provocando fuga de material en la canaleta de lavado. También provoca que el lecho se colmate rápidamente debido al menor porcentaje de vacíos entre los granos de antracita, impidiendo que el agua a ser filtrada, descienda y aumente la pérdida de carga en las unidades.

En lo que respecta al coeficiente de uniformidad, todos los filtros presentan un coeficiente de uniformidad mayor al de diseño y al recomendado de la CEPIS, pero podemos decir que el coeficiente de uniformidad de los filtros 1, 2, 3, 5, y 6 están ligeramente superior al coeficiente de uniformidad de diseño, pero los filtros 4, 7 y 8 tienen coeficiente de uniformidad muy altos.

Del análisis granulométrico de la arena se puede extraer el cuadro 49 que muestra los resultados de la prueba y que se comparan con los parámetros de diseño y con los recomendados por el CEPIS, lo cual establece lo siguiente

Cuadro 49. Análisis comparativo de la granulometría de la arena

N° FILTRO	CARACTERISTICAS DE LA ARENA					
	Tamaño efectivo (mm)			Coeficiente de de uniformidad		
	OPERACIÓN- PTM	DISEÑO	CEPIS	OPERACIÓN- PTM	DISEÑO	CEPIS
1,2,3, 5,6	0.85	0.50	0.50 - 0.60	1.56	1.60	1.5
4,7,8	0.39	0.50	0.50 - 0.60	1.92	1.60	1.5



El tamaño o diámetro efectivo (de) de la arena, de los filtros 1, 2, 3, 5 y 6 están por encima de establecido por el diseño y por el CEPIS; de los filtros 4, 7 y 8 están por encima de lo recomendado por el CEPIS y lo establecido en el diseño.

El tamaño efectivo de la arena que se colocó en los filtros es superior al recomendado. Esto indica que hay una arena de mayor tamaño, por lo que el lecho tiende a expandirse menos, hay un mayor porcentaje de vacíos entre los granos de arena, pudiendo afectar en la calidad del efluente.

8.4.2 BOLAS DE BARRO

Según los resultados obtenidos, nos indica la inexistencia de bolas de barro en el lecho filtrante de las ocho unidades en estudio, sólo se pudo observar presencia de bolas de barro en el filtro cinco pero en pequeñas cantidades.

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), clasifica a los filtros según el porcentaje de bolas de barro, según se muestra el cuadro 50.



Cuadro 50. Calificación de los filtros por el contenido de bolas de lodo

% DE VOLUMEN DE BOLAS DE LODO	CONDICIONES DEL MEDIO FILTRANTE
0-0.1	Excelente
0.1-0.2	Muy bueno
0.2-0.5	Bueno
0.5-1.0	Regular
1.0-2.5	De regular a malo
2.5-5.0	Malo
7.5	Muy malo

Un filtro bien conservado no debe contener bolas de lodo. Sin embargo, es posible que con el transcurrir de los años, puedan irse formando hasta llegar a 1% sin que afecten mayormente el funcionamiento de la unidad. Por encima de ese valor, la eficiencia se ve afectada cada vez en mayor grado. Porcentajes mayores de 5% están indicando la necesidad de reconstruir el lecho filtrante.

Interpretación de los resultados

Analizando los resultados del cuadro 34 con el cuadro anterior podemos decir que el medio filtrante de todos los filtros se



encuentran en excelentes condiciones con excepción del filtro cinco que está en buenas condiciones.

8.4.3 ESPESOR DEL MEDIO FILTRANTE

El cuadro 51, muestra los espesores recomendados por el CEPIS así como los de diseño, también los obtenidos en este ensayo y la altura del medio cuando se restituyó nuevamente.

Cuadro 51. Análisis comparativo del espesor del medio filtrante

N° FILTRO	Espesor del medio filtrante				
	OPERACIÓN- PTM	DISEÑO	RESTITUIDO	CEPIS	Unidades
1	0.69	0.70	0.65	0.7- 0.8	m
2	0.74	0.70	0.65	0.7- 0.8	m
3	0.74	0.70	0.65	0.7- 0.8	m
4	0.59	0.70	0.55	0.7- 0.8	m
5	0.75	0.70	0.65	0.7- 0.8	m
6	0.77	0.70	0.65	0.7- 0.8	m
7	0.73	0.70	0.65	0.7- 0.8	m
8	0.72	0.70	0.65	0.7- 0.8	m

El filtro 4 posee el menor espesor del medio con una altura de 59 cm, esto es debido a que justamente cuando se restituyó el



medio de este filtro solamente se colocó 30 cm de antracita en el lado derecho y 35 cm en el lado izquierdo. Pero en cambio si llama la atención que el filtro 1 tenga una altura menor respecto al resto de los filtros de aproximadamente unos 4 cm, esto podría deberse ya sea por desperfectos en las boquillas que conducen el agua para el retrolavado o a velocidades altas de lavado al inicio cuando entró a operar el filtro que pudo ocasionar exageradas expansiones del lecho filtrante y por ende fuga del material en las canaletas, esto conlleva a una reducción de los espesores del medio.

Como puede verse en el cuadro 51 la altura del medio debería ser de 65 cm como máximo, ya que cuando se sustituyeron los medios filtrantes se colocaron 20cm de arena y 45cm de antracita; pero como la determinación del espesor se realiza cuando el medio está inundado, con lo cual el agua estaría ocupando un espacio dentro del medio y esto estaría ocasionando a que el medio tenga un mayor volumen, razón por la cual se creyó conveniente secar la muestra de material extraída del lecho filtrante para establecer una relación con la verdadera altura del medio filtrante.



Para esto con las muestras extraídas para la determinación de la granulometría se tomó varias porciones de material se colocó en una probeta y se midió el volumen, luego se secó la muestra y una vez seco el material se volvió a colocar en la probeta y se midió el volumen, con los volúmenes inicial y final se determina el porcentaje de agua contenida en la muestra, así como el porcentaje de material seco, obteniéndose los siguientes los datos expuestos en el cuadro 52:

Cuadro 52. Aproximación de la altura del medio filtrante

Nº FILTRO	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
% DE VOLUMEN DE AGUA CONTENIDO	10,32	13,11	12,45	11,78	12,93	12,81	14,50	14,57
ALTURA DEL MEDIO FILTRANTE HUMEDA (cm)	69,31	74,13	74,06	59,44	74,56	76,56	73,06	71,63
ALTURA DEL MEDIO FILTRANTE SECA (cm)	62,16	64,41	64,84	52,44	64,92	66,75	62,47	61,19

Como puede verse todos los filtros tienen una altura próxima a 65 cm a excepción del F1 y F4 por las razones expuestas anteriormente.



8.5 DIAGNOSTICO GENERAL

Una vez evaluado a los filtros podríamos hacer una calificación de los mismos, para lo cual se va a valorar cuantitativamente a cada característica de los filtros, con un valor de 10 si cumple lo establecido en el diseño y lo recomendado por el CEPIS, con 7.5 si está cerca de lo determinado, con 5 si está lejos de lo estipulado y 2.5 si está totalmente discrepante de lo establecido en el diseño y lo recomendado por el CEPIS.

La máxima calificación si cumple todo los parámetros será de 90, ya que se va a valorar las 9 características y así mismo se hace una estimación del total de valoración de la siguiente manera, de 67.5 a 90 se calificará como filtro eficiente, de 45 a 67.5 como filtro bueno, de 22.5 a 45 como filtro regular y de 0 a 22.5 como filtro deficiente. Los resultados se presentan en el cuadro 53.

Cuadro 53. Valoración cuantitativa de los filtros.

MUY BIEN		10
BIEN		7.5
REGULAR		5
DEFICIENTE		2.5



Nº FILTRO	VELOCIDAD DEL FILTRO	CALIDAD DEL FILTRADO	DURACIÓN DE LAS CARRERAS DE FILTRACIÓN	EXPANSIÓN DEL MEDIO FILTRANTE	DURACIÓN DEL PROCESO DE LAVADO	VELOCIDAD DEL FILTRO	GRANULOMETRÍA DEL MEDIO FILTRANTE	BOLAS DE BARRO	ESPESOR DEL MEDIO FILTRANTE	CALIFICACION
1	10	10	75	5	5	5	75	10	75	675
2	10	10	75	75	5	75	75	10	10	75
3	10	10	75	75	5	75	75	10	10	75
4	10	10	75	10	75	10	75	10	5	775
5	10	10	75	5	5	5	75	75	10	675
6	10	10	75	75	5	75	75	10	10	75
7	10	10	75	10	75	10	75	10	10	825
8	10	10	75	10	75	10	75	10	10	825

Nº FILTRO	CALIFICACION
1	Bueno
2	Eficiente
3	Eficiente
4	Eficiente
5	Bueno
6	Eficiente
7	Eficiente
8	Eficiente



9.-“No degradarás el
Agua, ya que es
fuente ancestral de
placer e inspiración, y
promesa viva de
futuras riquezas”



IX. OPORTUNIDADES DE PRODUCCIÓN MAS LIMPIA Y DE BUENAS PRACTICAS EN LA OPERACIÓN DE LOS FILTROS E INDICADORES DE DESEMPEÑO.

El concepto básico de Producción Más Limpia es el de prevenir la contaminación, buscando beneficios económicos a través del mejoramiento de la productividad y competitividad de las empresas. Es una estrategia que ayuda a minimizar la cantidad y toxicidad de los residuos que se generan como consecuencia de la producción de bienes y servicios. Las alternativas de Producción Más Limpia que ayudarían a disminuir el consumo de agua de lavado en los filtros, minimizar vertimientos líquidos y ahorros en producción tienen que ver sobre todo con:

- Disminución de la cantidad de lavados de los filtros.
- Reducción del consumo de agua y producción de aguas residuales.
- Recirculación del agua de los filtros a los sedimentadores
- Estudiar la posibilidad de utilizar el agua de los lavados de los filtros, ello puede verse la necesidad de instalar un tanque de almacenamiento el cual podría disponer en cualquier momento de agua.



La aplicación de la Producción Más Limpia a la Batería de Filtros le traería a la Planta las siguientes ventajas:

- Aumento de la competitividad y la eficiencia de la Planta.
- Reducción del desperdicio del recurso agua.
- Minimización de los impactos ambientales a la quebrada de Mahuarcay al reducir los vertimientos.
- Reducción de los costos de disposición de aguas residuales (agua de lavado de los filtros).
- Disminución de los riesgos por incumplimiento de disposiciones legales.
- Mejoramiento de la imagen pública de la empresa.

9.1 DISMINUCIÓN DE LA CANTIDAD DE LOS LAVADOS DE LOS FILTROS

Este propósito se conseguiría si la carrera de filtración se alargaría y de esta forma el beneficio que se obtiene estará en la disminución del consumo total de agua en la planta y la minimización del vertimiento del agua residual en la quebrada de Mahuarcay.

Para determinar si era factible esta intención lo que se realizó es que cuando se lavó un filtro se cerró la compuerta del vertedero correspondiente a la salida del canal de



interconexión, esto con la finalidad de que todo el caudal producido por los tres filtros restantes que integran cada uno de las baterías proporcionen un mejor caudal de lavado al filtro que se está lavando, ayudando así a que la expansión del medio sea mejor y por ende se incremente la velocidad de lavado, con esto se pretende que el medio filtrante después del lavado quede lo más limpio posible y con lo que se alargaría las carreras de filtración.

Se hizo el lavado de los filtros con este método durante una semana determinándose los siguientes ensayos:

- Calidad del filtrado inicial.
- Carrera de filtración.
- Tiempo óptimo de lavado.
- Velocidad de lavado.
- Expansión del medio filtrante.

La determinación de la calidad del filtrado inicial se realizó con la intención de observar como influye el lavado de los filtros con este procedimiento en la calidad del efluente de los mismos. El tiempo óptimo de lavado se evaluó con el fin de verificar que si efectivamente este tiempo disminuía habría una reducción en el consumo del agua de lavado; la velocidad de lavado como la



expansión del medio se realizó con el propósito de determinar si al incrementar los mismos había pérdida de material filtrante. A continuación presentamos los resultados de los ensayos realizando el lavado de los filtros con este método.

9.1.1 CALIDAD DEL FILTRADO INICIAL

Para esta determinación se siguió el mismo procedimiento expuesto en el acápite 5.2.2 con la única diferencia de que se cerró la compuerta del vertedero del canal de interconexión. Los resultados obtenidos se muestran en el siguiente en el cuadro 54.

Cuadro 54. Turbiedades (UNT) medidas luego del proceso del retrolavado.

Tiempo (min)	TURBIEDAD(NTU)							
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
2	0.49	0.42	0.24	0.47	0.56	0.21	0.58	0.48
4	0.42	0.38	0.33	0.54	0.48	0.31	0.52	0.46
6	0.43	0.39	0.28	0.36	0.44	0.42	0.39	0.45
8	0.46	0.36	0.31	0.48	0.37	0.53	0.47	0.49
10	0.41	0.34	0.23	0.43	0.42	0.67	0.56	0.43
12	0.37	0.29	0.42	0.54	0.38	0.58	0.41	0.38
14	0.44	0.32	0.39	0.37	0.38	0.44	0.39	0.33
16	0.49	0.29	0.35	0.43	0.48	0.38	0.46	0.46
18	0.38	0.31	0.36	0.38	0.41	0.32	0.41	0.45
20	0.41	0.35	0.3	0.27	0.37	0.4	0.45	0.43
22	0.38	0.31	0.34	0.31	0.4	0.46	0.4	0.4
24	0.35	0.3	0.32	0.36	0.32	0.39	0.38	0.41
26	0.39	0.32	0.29	0.38	0.39	0.35	0.39	0.38
28	0.34	0.37	0.28	0.35	0.36	0.34	0.36	0.34
30	0.3	0.33	0.26	0.32	0.34	0.31	0.34	0.34



Se puede observar que realizando este procedimiento el primer efluente que produjo el filtro tuvo una turbiedad menor que cuando se determinó sin bajar la compuerta, debido a que se desprendió una mayor cantidad de partículas durante el lavado y evitó que esas partículas salgan en el efluente al entrar en servicio nuevamente el filtro.

Se consiguió desprender una mayor cantidad de partículas de sedimento debido a que al cerrar la compuerta se incrementó el caudal de lavado alcanzando así una mayor expansión que permitió un mayor arrastre de sedimento.

Los datos del cuadro 54 se representan en la figura 64.

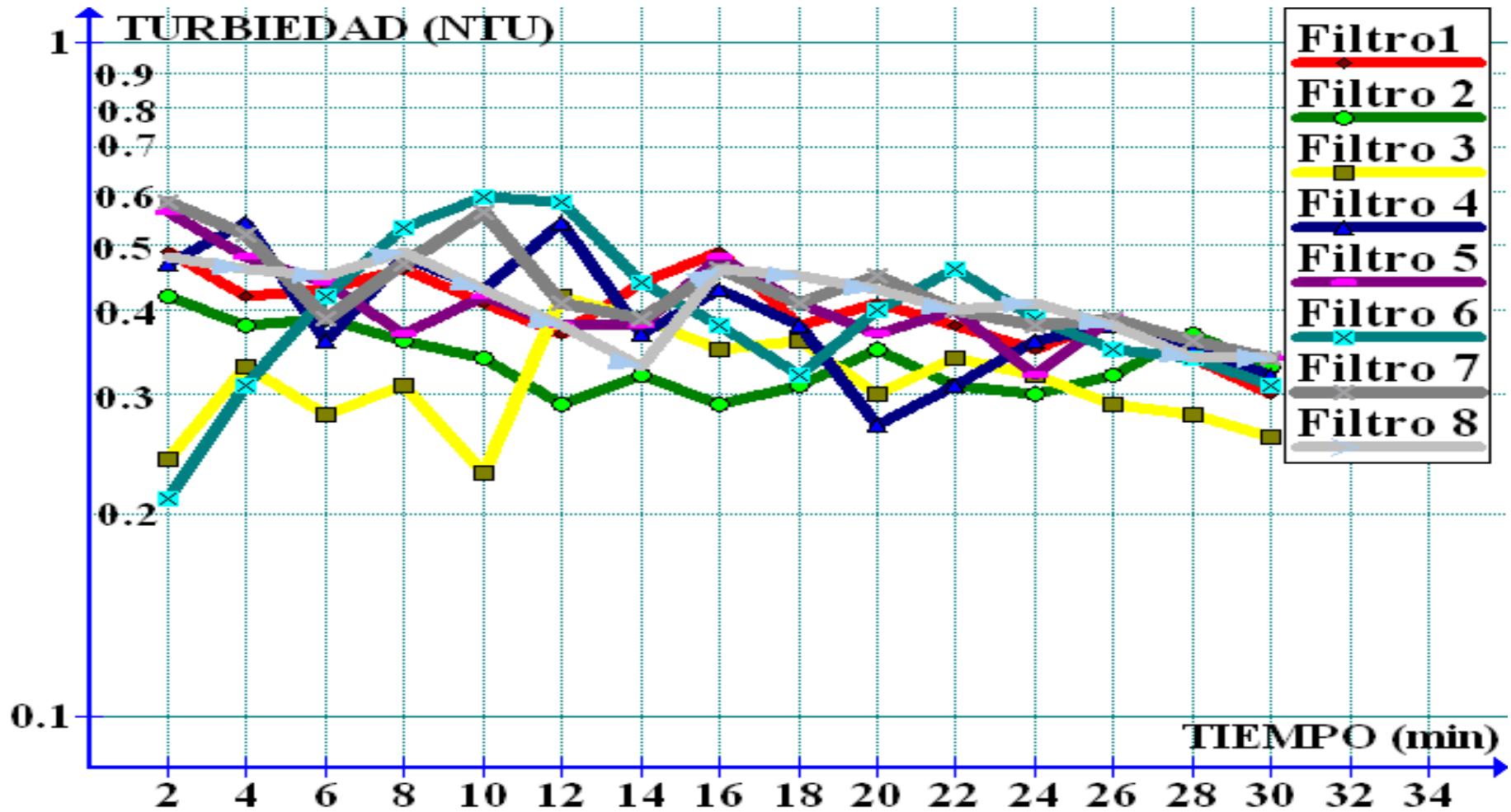


Fig. 64. Grafico turbiedad de filtrado inicial versus tiempo



9.1.2 CARRERA DE FILTRACIÓN

Para la determinación de la carrera de filtración durante una semana se lavó los filtros cerrando la compuerta del vertedero del canal de interconexión, anotando los tiempos correspondientes en los respectivos registros. Se obtuvo los resultados que se exponen en el cuadro 55:

Cuadro 55. Carreras de filtración en horas

FECHA	CARRERA DE FILTRACION (h)								CONDICION
	F1	F2	F4	F4	F5	F6	F7	F8	
31/08/09-03/09/09	38.00	38.58	38.50	39.25	37.75	37.33	39.00	40.50	COMPUERTA
01/09/09-05/09/09	41.25	41.58	42.50	44.50	45.33	46.25	45.25	46.75	CERRADA DEL
03/09/09-05/09/09	45.33	45.91	45.58	46.58	46.75	47.66	47.58	48.25	CANAL DE
									INTERCONEXION

No se podría hacer un promedio de la carrera de filtración, ya que como se puede ver la carrera se fue incrementando a medida de que se lavó repetidamente los filtros, al inicio incremento la carrera de filtración respecto a que cuando se lava sin cerrar la compuerta del canal de interconexión, llegando a un promedio de 38 horas, en el segundo lavado de cada filtro la carrera se incrementó a un aproximado de 44 horas y en la tercera vez se incremento a un promedio de 47 horas, esto debido a que presumiblemente en cada lavado se



va desechando más y más sedimento acumulado en el medio filtrante, es decir es de esperar que se llegue a un número determinado de lavado de filtros con este método en donde se haya eliminado casi todo el sedimento para luego obtener una carrera de filtración constante.

El los primeros seis días del mes de Septiembre del 2009 se lavaron los filtros cerrando la compuerta del canal de interconexión por 27 veces en total (cuadro 56), lo cual si proyectamos al mes se lavarían aproximadamente 130 filtros.

Cuadro 56. Registro de lavado de los filtros y carrera de filtración

Fecha	Hora	Filtro							
		1	2	3	4	5	6	7	8
01/09/2009	03H15					X			
01/09/2009	08H00						X		
01/09/2009	12H15							X	
01/09/2009	16H50								X
01/09/2009	21H20	X							
01/09/2009	02H40		X						
02/09/2009	07H10			X					
02/09/2009	12H25				X				
02/09/2009	16H55					X			
02/09/2009	21H20						X		
03/09/2009	03H15							X	
03/09/2009	09H20								X
03/09/2009	14H35	X							
03/09/2009	20H25		X						
04/09/2009	02H40			X					
04/09/2009	07H55				X				
04/09/2009	13H20					X			
04/09/2009	18H40						X		
05/09/2009	00H30							X	
05/09/2009	06H05								X
05/09/2009	11H55	X							
05/06/2009	18H20		X						
06/06/2009	00H15			X					
06/06/2009	06H20				X				
06/06/2009	12H05					X			
06/06/2009	18H20						X		



Así mismo de los registros de lavado de los filtros se estableció el número de filtros que se lavan por mes, se determinó desde el mes de Mayo del 2009 una vez que se cambió los medios de todos los filtros, obteniéndose el cuadro 57.

Cuadro 57. Número de filtros lavados por mes

MES	# FILTROS LAVADOS
MAYO	189
JUNIO	188
JULIO	188
AGOSTO	164

Como puede verse el mes de Agosto muestra un menor número de filtros lavados, esto es justamente a que en este mes ya se realizaron algunos ensayos lavando los filtros cerrando la compuerta del canal de interconexión con lo cual se incrementó la carrera de filtración y por lo que se lavó un menor número de filtros.

Si desechamos el dato de Agosto podríamos decir que se lava aproximadamente 188 filtros por mes cuando se lava un filtro en la manera en que normalmente se ha venido haciendo, por lo que si se implementa este mecanismo de lavado se estaría reduciendo el número de lavado de los filtros en aproximadamente 58 veces.



9.1.3 TIEMPO OPTIMO DE LAVADO

Para esta prueba se siguió el mismo procedimiento expuesto en el párrafo 5.3.2 con la única diferencia de que se cerró la compuerta del vertedero del canal de interconexión.

Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 58:

Cuadro 58. Turbiedades (NTU) medidas en el proceso del retrolavado

Tiempo (min)	TURBIEDAD (NTU)							
	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6	Nº7	Nº8
0	191	166	189	149	101	175	113	121
1	401	496	452	281	212	477	361	368
2	287	366	321	151	371	303	241	217
3	189	286	165	82.1	264	174	105	157
4	118	194	121	69.4	157	113	50.4	121
5	83.1	118	57.3	32.1	104	55.2	39.5	102
6	49.0	68.6	41.9	22.5	75.9	42.3	33.3	97.2
7	31.7	47.6	26.0	18.9	59.4	36.9	21.2	70.3
8	24.1	37.2	23.3	15.3	47.7	25.8	19.6	59.4
9	22.0	25.7	21.7	14.1	36.3	15.5	17.7	34.0
10	20.8	18.4	19.2	12.6	34.6	10.1	12.4	31.9
11	19.4	14.9	11.6	11.3	30.2	8.71	11.3	20.7
12	18.2	11.4	9.8	9.98	29.3	6.52	11.0	18.1
13	16.6	10.9	8.6	11.2	26.1	4.42	14.4	17.6
14	18.3	10.1	10.1	10.5	23.5	4.01	13.5	17.6
15	17.3	9.98	9.58	10.8	21.6	5.55	12.5	15.9

Luego de este ensayo se pudo ratificar lo expuesto en la determinación de la calidad del filtrado inicial, ya que justamente al cerrar la compuerta del vertedero del canal de interconexión se incrementó la turbiedad del agua de lavado durante los primeros minutos con lo que se desprendió mayor cantidad de sedimento, como se puede apreciar en el cuadro



anterior la turbiedad del agua de lavado superó en la mayoría los 350 NTU llegando en alguno de ellos inclusive hasta los 400-450 NTU en los tres primeros minutos luego de lo cual desciende hasta llegar a valores inferiores a los 10 NTU como se aprecia en la figura 65.

En el gráfico 65 se puede observar como el tiempo de lavado disminuye a unos 15 minutos en donde se obtiene turbiedades de 10 NTU, a excepción del F1 y F5 que a ese tiempo tienen todavía turbiedades de 20 NTU.

Los datos anteriores son el resultado de la pruebas realizadas durante el primer lavado de cada uno de los filtros con la compuerta cerrada del canal de interconexión, así mismo luego de una semana de estos ensayos es decir luego de que cada filtro se lavo tres veces con este procedimiento se evaluó nuevamente el tiempo de lavado, obteniéndose los resultados del cuadro 59.



Cuadro 59. Turbiedades (UNT) medidas en el proceso del retrolavado

Tiempo (min)	TURBIEDAD							
	F 1	F 2	F 3	F 4	F 5	F 6	F 7	F 8
0	276	158	168	256	182	169	155	159
1	449	425	411	393	396	412	401	399
2	311	348	3,9	212	250	292	289	296
3	237	235	175	101	202	182	156	166
4	137	158	118	51,1	166	106	78,5	98,8
5	102	101	62,2	29,3	102	65,5	45,6	43,7
6	62,2	58,8	40,5	16	73,1	39,6	31,2	33
7	52,3	47,6	30,2	14,3	52,4	31,2	20,5	22,8
8	40,1	37,2	24,5	10,6	39,1	24,6	16,5	17,7
9	24,9	25,6	20,6	9,95	28,3	13,9	11,2	10,1
10	21,6	19,8	14,9	8,52	16,2	11,2	9,56	8,02
11	16,7	13,2	12,5	7,12	15,2	10,1	8,52	6,73
12	15,1	10,9	10,0	6,25	13,9	8,12	6,59	7,85
13	13,2	9,15	9,11	6,41	11,5	7,16	7,25	6,65
14	10,9	8,52	8,56	5,33	10,6	6,39	7,01	6,14
15	9,96	9,56	7,12	5,01	8,89	5,98	7,05	5,89

Los datos del cuadro 59 también son representados en la figura 66.

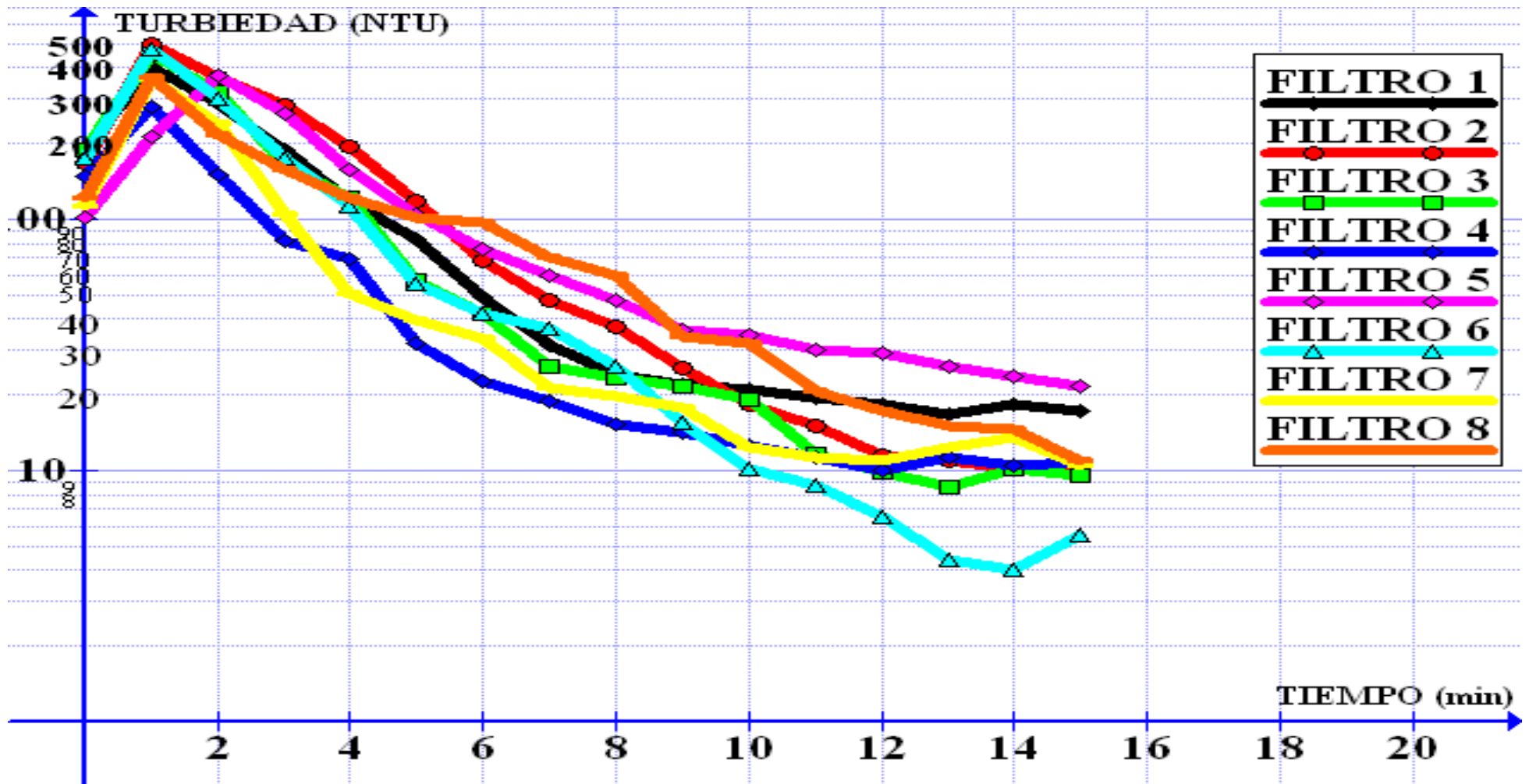


Fig. 65. Duración de lavado

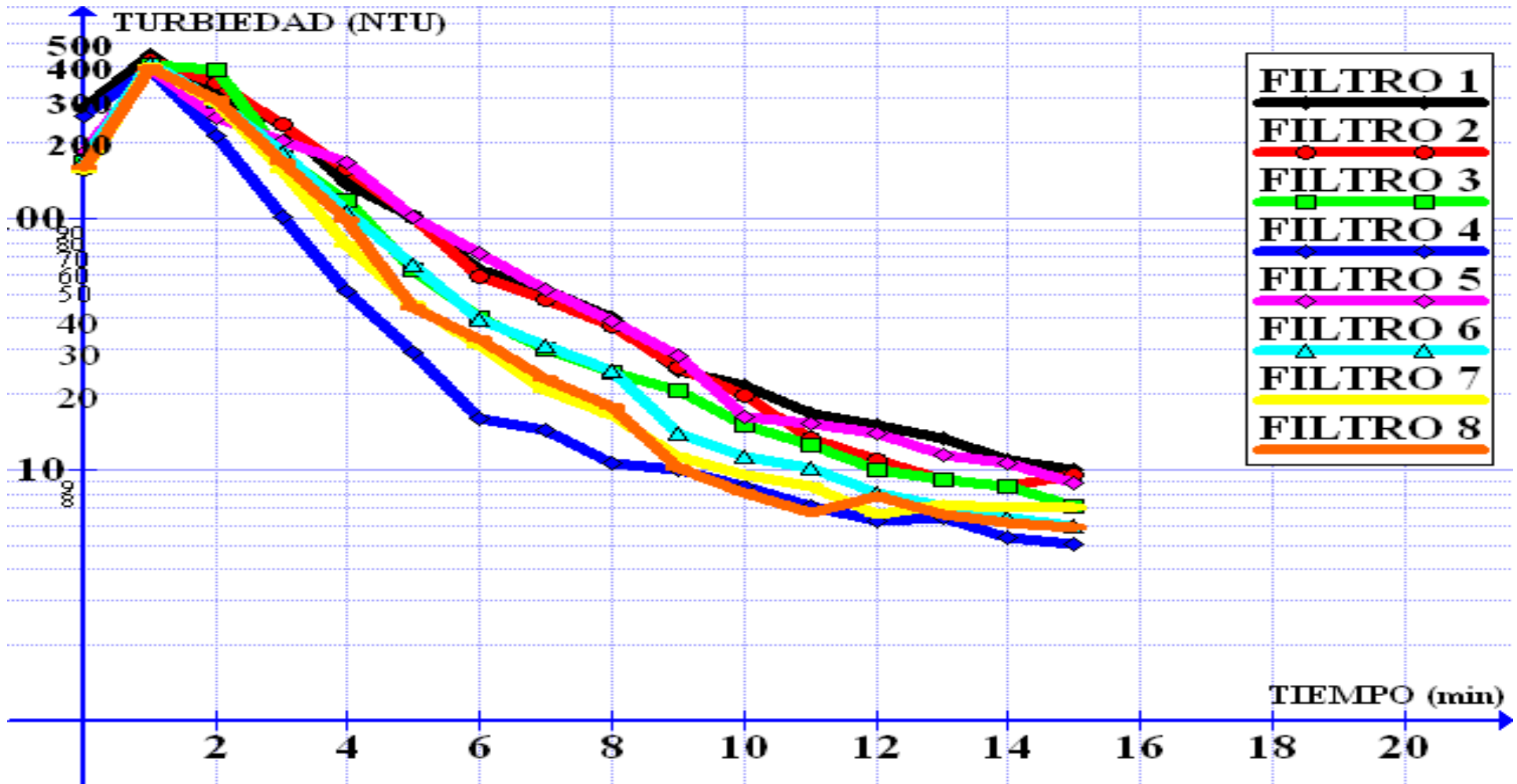


Fig. 66. Fig. Duración de lavado



En la gráfica 66 se puede notar claramente como el tiempo óptimo para los filtros 4, 7 y 8 serían solamente de 10 minutos; para los filtros 2,3 y 6 serían de 12 minutos y para los filtros 1 y 5 de 15 minutos; respecto a la figura 65 como se puede ver los tiempos han disminuido, esto es debido como se mencionó a que ya se lavaron por tres ocasiones los filtros con este procedimiento, razón por la cual se cree que un buen porcentaje de sedimento acumulando en el lecho filtrante fue ya eliminado con lo que se acorta el tiempo de lavado.

Razón por la cual si al lavar un filtro se cierra la compuerta del canal de interconexión se disminuye el tiempo de lavado

9.1.4 VELOCIDAD DE LAVADO

De igual manera para esta prueba se siguió el mismo procedimiento expuesto en el enunciado 5.3.3 así mismo con la única diferencia de que se cerró la compuerta del vertedero del canal de interconexión al encender el retrolavado.

Los resultados logrados se muestran en el cuadro 60:



Cuadro 60. Velocidad de lavado

Nº FILTRO	ALZAS DEL MEDIO PROMEDIO		ALZAS(m)	TIEMPO DE ASCENSO DEL AGUA(s)	VELOCIDAD DE LAVADO (m/s)	VELOCIDAD DE LAVADO (m/h)
	FILTRADO(m)					
	IZQUIERDA	DERECHA				
1	72	71	715	90	079	046
2	66	65	655	72	091	055
3	66	66	66	71	093	056
4	78	82	80	64	125	073
5	66	68	67	91	074	042
6	65	62	635	71	089	054
7	68	68	68	54	126	063
8	68	67	675	55	123	064

Al lavar los filtros con este procedimiento se consigue aumentar la velocidad de lavado en los ocho filtros, en casi todos a excepción de los filtros 1 y 5 la velocidad esta próxima y en algunos sobrepasa ligeramente lo recomendado por el CEPIS y el criterio de diseño.

Esto se puede observar claramente en la figura 67.

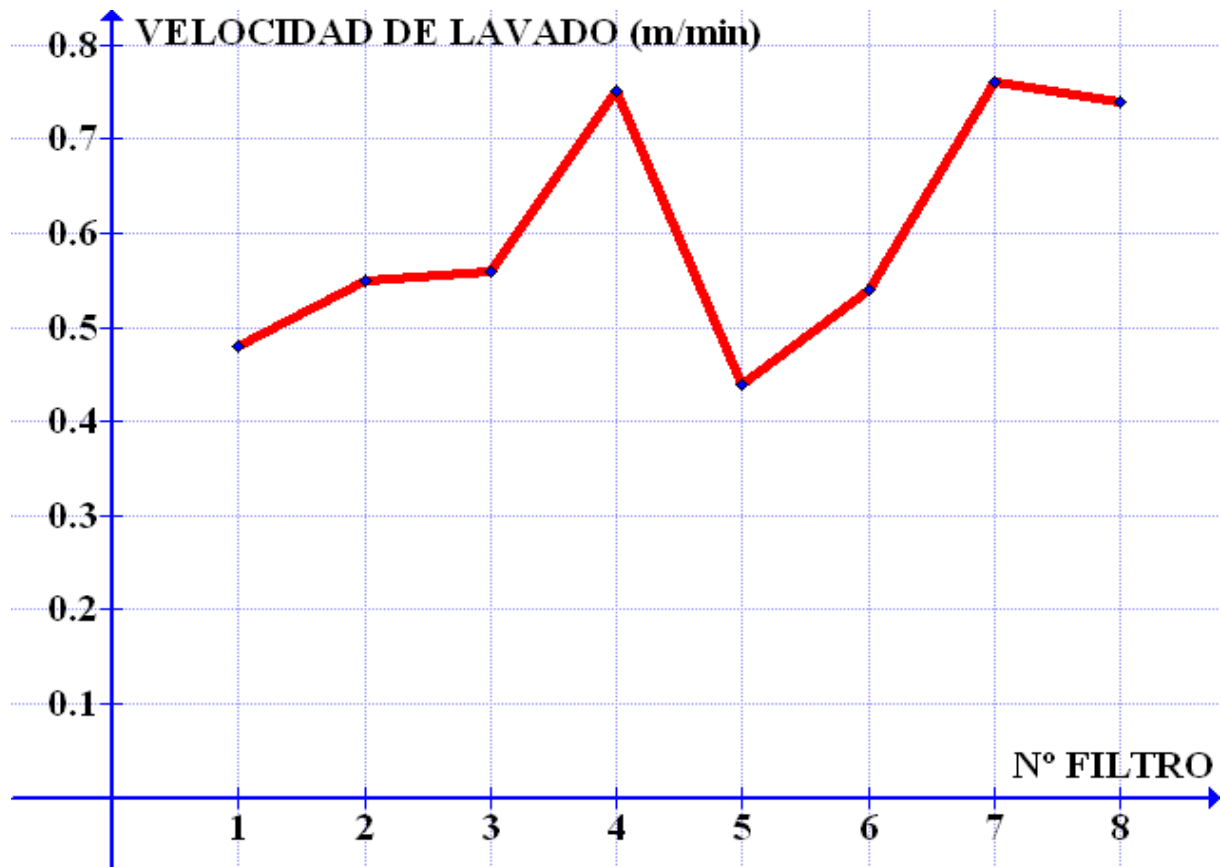


Fig.67. Velocidad en m/min del lavado de los filtros

9.1.5 EXPANSIÓN DEL MEDIO FILTRANTE

También para esta prueba se siguió el mismo procedimiento expuesto en el enunciado 5.3.1 de igual manera se cerró la compuerta del vertedero del canal de interconexión para el lavado de los filtros.

Los resultados se presentan en el cuadro 61, en donde se puede vislumbrar que todos los filtros tiene una expansión igual o superior a lo recomendada por el CEPIS y según el criterio de diseño, inclusive el filtro 5 que tiene una baja expansión cuando se realiza el lavado con el procedimiento normal, al lavarlos con



este procedimiento incrementa notablemente el valor de la expansión llegando a lo recomendado, lo que si llama la atención es en cambio que los filtros 2 y 4 presentan una elevada expansión, por lo que podría haber una fuga de material filtrante.

Cuadro 61. Resultados de la expansión del medio filtrante

Nº FILTRO	ALTURAS DE MATERIAL OBTENIDAS EN EL EQUIPO (cm)		PROMEDIO DE ALTURA DEL MEDIO FILTRANTE (cm)		ALTURA DEL MEDODETERMINADA EN EL APARTADO 7.3.3 (cm)		PORCENTAJE DE EXPANSION (%)		PROMEDIO (%)
	IZQUIERDO	DERECHO	IZQUIERDO	DERECHO	IZQUIERDO	DERECHO	IZQUIERDO	DERECHO	
1	84	94	86.5	89	67.19	68.63	28.74	29.69	29.22
	84	89							
	89	84							
	89	89							
2	112.5	112.5	110.875	109.25	73.19	73.44	51.49	48.77	50.13
	106	106							
	112.5	106							
	112.5	112.5							
3	100	100	102.5	102.5	73.31	72.75	39.81	40.89	40.35
	105	105							
	100	100							
	105	105							
4	89	89	93.75	91.375	61.25	56.19	53.06	62.63	57.84
	98.5	98.5							
	89	89							
	98.5	89							
5	89	89	89	89	73.63	71.94	20.88	23.72	22.30
	89	89							
	89	89							
	89	89							
6	89	98.5	89	99.25	74.06	77.00	20.17	28.90	24.53
	89	100							
	89	98.5							
	89	100							
7	94	89	96.625	96.5	72.81	71.75	32.70	34.49	33.60
	98.5	98.5							
	94	98.5							
	100	100							
8	100	100	96.5	96.5	70.50	71.63	36.88	34.73	35.80
	98.5	98.5							
	89	89							
	98.5	98.5							



Los datos del cuadro 61 son representados en la figura 68.

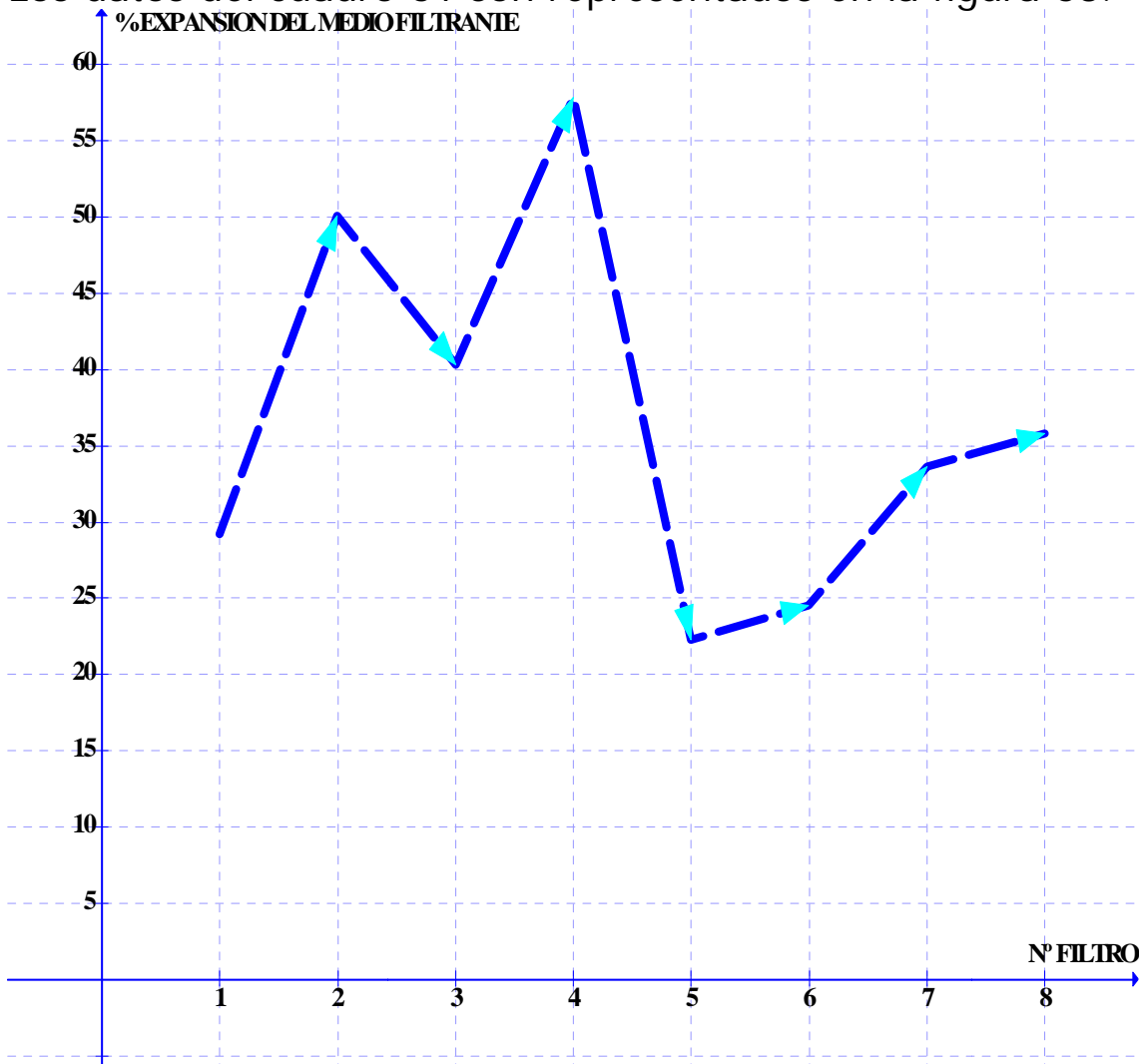


Fig. 68. Gráfico de la expansión del medio filtrante

Como al realizar este método de lavado, cerrando la compuerta de salida del canal de interconexión, se produjo un buen incremento de la expansión, podría haber pérdida de material filtrante no sólo en los filtros 2 y 4 sino en todos , por lo que se trató de determinar si efectivamente al realizar este método se

estaba perdiendo medio filtrante, para lo cual se construyó una especie de canastilla con malla galvanizado número 10 es decir con trama de 2mm, este cesto se construyó con una altura de 70cm y un diámetro de 40cm a fin de poder encajar la canastilla en la tubería de la válvula de desfogue del agua de lavado (Fig. 69a).



Fig. 69a. Canastillas para recolectar material filtrante.



Fig. 69b. Ubicación de la canastilla en la válvula de descarga del agua de lavado.



Fig. 69c. Instante en que se lava un Filtro.



Fig. 69d. Material filtrante que se recolectó en la canastilla.

Una vez colocada la canastilla en la válvula de desfogue se procedió al lavado del filtro cerrando la compuerta del vertedero del canal de



interconexión (Fig. 69b y Fig. 69c). Luego de lavado el filtro se recolectó el material que se quedó en la malla, el mismo que se dejó secar para pesarla posteriormente (Fig. 69d).

Los datos obtenidos se muestran en el cuadro 62:

Cuadro 62. Cantidad de material filtrante perdido en el lavado

Nº FILTRO	Cantidad de material perdido en el lavado (g)
1	0
2	1.962
3	6.611
4	2.016
5	0
6	1.488
7	6.734
8	8.756

Una vez realizado todos los ensayos necesarios para determinar si es posible disminuir el número de lavado de filtros, se puede decir que efectivamente al lavar los filtros cerrando la compuerta del vertedero de salida del canal de interconexión se puede disminuir notable el número de lavado de filtros por mes, con la duda de que se podría incrementar la pérdida de material en el lavado de los mismos, razón por la cual para evitar perder el material filtrante lo que se podría hacer es construir una canastilla parecida a la del figura 69 para cada uno de los filtros, con el propósito de recoger el material expulsado en el lavado para luego volverlo a su filtro correspondiente o para determinar la cantidad de material que



se pierde con el fin de adquirir dicha cantidad material para su reposición posterior.

9.2 REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA DE LAVADO Y DE LA PRODUCCIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Esta medida incluye todas las acciones y técnicas tendientes a mejorar las operaciones y optimizar el uso del agua de lavado, por ello que se determinó el tiempo óptimo de lavado cerrando la compuerta del canal de interconexión tal como muestra el apartado 9.1, estos resultados lo extraemos del cuadro 58 y de la figura 66, y lo resumimos en el cuadro 63.

Cuadro 63. Duración de lavado

Nº FILTRO	Tiempo óptimo de lavado			
	OPERACIÓN- PTM	DISEÑO	CEPIS	Unidades
1	15	10-12	10-15	min
2	12	10-12	10-15	min
3	12	10-12	10-15	min
4	10	10-12	10-15	min
5	15	10-12	10-15	min
6	12	10-12	10-15	min
7	10	10-12	10-15	min
8	10	10-12	10-15	min



Como puede observarse se ha reducido el tiempo de lavado, pero hay que tener presente así mismo que si bien el tiempo de lavado se acortó en cambio la cantidad de agua que se utiliza en ese tiempo tendría que ser mayor a lo que habitualmente se venía usando, para determinar la cantidad de agua de lavado que se consume al lavar los filtros con este nuevo procedimiento, se aforó el canal que recoge el agua de lavado y se midió el tiempo que tardaba en llenarse dicho canal, con el volumen de aforamiento y el tiempo de llenado se pudo determinar el caudal de agua de lavado, estos resultados se presenta en el cuadro 64.

Cuadro 64. Caudal de lavado (lavado cerrando compuerta de canal de interconexión)

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
tiempo promedio (s)	50	40	37	32	67	44	42	43
tiempo promedio (min)	0,83	0,67	0,62	0,53	1,12	0,73	0,70	0,72
volumen del canal m ³	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Caudal de lavado (m ³ /min)	2,16	2,70	2,92	3,38	1,61	2,45	2,57	2,51

En seguida se va a efectuar un análisis comparativo del caudal de lavado de los filtros cuando se lava con este procedimiento con el caudal de lavado cuando se lava normalmente, para esto



se extrajeron datos del caudal de lavado que se tienen en la Planta de Mahuarcay los mismos que fueron determinados en Septiembre del 2008 y que se presentan en el cuadro 65.

Cuadro 65. Caudal de lavado (lavado sin cerrar la compuerta de canal de interconexión)

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
tiempo promedio (s)	58,33	43,87	44,67	63,67	82,67	57,67	53,67	51,00
tiempo promedio (min)	0,97	0,73	0,74	1,06	1,38	0,96	0,89	0,85
volumen del canal m³	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
Caudal de lavado (m³/min)	1,85	2,46	2,42	1,70	1,31	1,87	2,01	2,12

Al comparar los datos del cuadro 63 y 64 se puede observar que al lavar los filtros cerrando la compuerta del canal de interconexión hay un aumento en el caudal del agua de lavado, razón por la cual es necesario determinar la cantidad de agua que se ahorraría con este procedimiento, teniendo presente que hay una disminución en el tiempo de lavado y en el número de filtros que se lavan, dichos resultados se presentan en los cuadros 66 y 67.



Cuadro 66. Consumo mensual de agua en el lavado de los filtros (proceso normal)

Nº FILTRO	Caudal de lavado	Tiempo de lavado	Volumen de descarga/ por filtro	Consumo por lavado	# Lavados/ mes	Consumo por mes
1	1,85	15	17	44,75	23	1029,25
2	2,46	15	17	53,9	23	1239,7
3	2,42	15	17	53,3	23	1225,9
4	1,7	15	17	42,5	23	977,5
5	1,31	15	17	36,65	23	842,95
6	1,87	15	17	45,05	23	1036,15
7	2,01	15	17	47,15	23	1084,45
8	2,12	15	17	48,8	23	1122,4
TOTAL CONSUMIDO/ MES						8558,3

Cuadro 67. Consumo mensual de agua en el lavado de los filtros (cerrando compuerta del canal de interconexión)

Nº FILTRO	Caudal de lavado (m3/min)	Tiempo de lavado (min)	Volumen de descarga/ por filtro (m3)	Consumo por lavado (m3)	# Lavados/ mes	Consumo por mes (m3)
1	2,16	15	17	49,4	16	790,4
2	2,7	12	17	49,4	16	790,4
3	2,92	12	17	52,04	16	832,64
4	3,38	10	17	50,8	16	812,8
5	1,61	15	17	41,15	16	658,4
6	2,45	12	17	46,4	16	742,4
7	2,57	10	17	42,7	16	683,2
8	2,51	10	17	42,1	16	673,6
TOTAL CONSUMIDO/ MES						5983,84



A pesar de que se consume más agua por cada lavado de los filtros con el método propuesto, en cambio el menor tiempo de lavado así como el menor número de lavados hace que el agua consumida por mes en el lavado de los filtros se reduzca en un 30% correspondiente a 2.574 m³.

Si tomamos como referencia que la PTM trata un caudal de 100 l/s, es decir 259.200 m³ por mes, el ahorro de los 2.574 m³ por lavar un menor número de filtros representaría un 0.86% de ahorro de la producción de la Planta.

En cuanto a los residuos procedentes del lavado de filtros, estos contienen óxidos hidratados de aluminio, junto con materias de naturaleza orgánica e inorgánica con baja concentración, si bien, como los filtros pueden favorecer al desarrollo biológico, el agua de lavado puede contener mayor cantidad de materia orgánica, que la procedente de las purgas de decantadores. El agua del lavado de filtros se evacua junto con los lodos de coagulación hacia el desagüe general y son vertidos directamente a la quebrada de Mahuarca, sin ningún proceso posterior para remoción de contaminantes, al ahorrar un 26% de agua en el lavado de filtro así mismo estamos disminuyendo los vertidos a la quebrada en la misma proporción.



La disminución de agua de lavado traería como consecuencia:
Disminución de las descargas muy frecuentes a la quebrada de Mahuarca y que es donde se vierte estas aguas.

Si se implantará un tratamiento para las aguas residuales (lodos) de los sedimentadores y el agua de lavado de los filtros, al disminuir la cantidad de agua de lavado de los filtros se estaría contribuyendo a una reducción de costos de tratamiento de los mismos.

9.3 RECIRCULACIÓN DEL AGUA DE LOS FILTROS

Luego de que se evaluó los filtros se pudo determinar que se perdía una gran cantidad de agua contenida en los filtros la misma que es enviada a la quebrada, esta agua es la que hay que evacuar de cada filtro cuando se va a realizar el lavado de los mismos, ya que el filtro debe estar vacío para proceder a su lavado y ello implica necesariamente que se debe descargar el filtro.

Como esta agua que se encuentra en el filtro no es más que agua sedimentada lo que se propone es recircularla al canal común de agua sedimentada, al hacer esto se reduciría el consumo de agua por operación de la planta, la cantidad que se



ahorraría de agua al recircularla se muestra en el cuadro 67, estos valores corresponden cuando se lavan normalmente los filtros y en el cuadro 68 se presentan los valores cuando se lavan los filtros con la compuerta cerrada del canal de interconexión, ya que en la última condición señalada hay un menor número de lavado de los filtros.

Cuadro 68. Ahorro mensual de agua al recircularla al canal de sedimentación, al lavar los filtros sin cerrar la compuerta del canal de interconexión.

Nº FILTRO	Volumen de agua que se puede recircular (m3)	# Lavados/ mes	Ahorro por mes (m3)
1	17	23	391
2	17	23	391
3	17	23	391
4	17	23	391
5	17	23	391
6	17	23	391
7	17	23	391
8	17	23	391
TOTAL AHORRADO (m3/ MES)			3128

En este caso se estaría ahorrando 3.128 m^3 , si se tiene presente que la Planta trata un caudal de 100 l/s, es decir 259.200 m^3 por mes, se ahorraría un 1.2% y por tanto se incrementaría la productividad en ese mismo valor.



Cuadro 69. Ahorro mensual de agua al recircularla al canal de sedimentación, al lavar los filtros cerrando la compuerta del canal de interconexión.

Nº FILTRO	Volumen de agua que se puede recircular (m3)	# Lavados/ mes	Consumo por mes (m3)
1	17	16	272
2	17	16	272
3	17	16	272
4	17	16	272
5	17	16	272
6	17	16	272
7	17	16	272
8	17	16	272
TOTAL AHORRADO (m3/ MES)			2176

Para este caso como se lava un menor número de filtros se estaría ahorrando 2.176 m³, si también se tiene presente que se trata un caudal de 100 l/s, es decir 259.200 m³ por mes, se ahorraría un 0.84 % y por tanto se incrementaría la productividad en ese mismo valor.

9.4 ESTUDIAR LA POSIBILIDAD DE UTILIZAR EL AGUA DE LOS LAVADOS DE LOS FILTROS

Los valores mostrados en las tablas 66 y 67 representan en el consumo de operación de los filtros un 3.3% y 2.4% respectivamente en relación al agua producida por la Planta, razón por la cual se debería estudiar la posibilidad de recuperar esa agua.



La implementación de este tipo de medidas implica:

Clasificación de las aguas que podrían ser reutilizadas sin afectar la calidad del producto final.

Cálculo de volúmenes de las aguas de lavado generadas para dimensionar el tanque de almacenamiento y determinación del tiempo de almacenamiento máximo de las mismas.

Se podría hacer una adecuación para el almacenamiento de las aguas de lavado de manera que haya una sedimentación previa a la recirculación de las mismas.

Cada vez que se lava un filtro, el agua que se genera se almacenaría en el tanque correspondiente y posteriormente se volvería a los sedimentadores.

9.5 BUENAS PRÁCTICAS PARA USO RACIONAL DE AGUA

A continuación se señalan algunas medidas de aplicación en la operación y mantenimiento de los filtros, las cuales son útiles también para otras unidades de la planta:

- Control de fugas en las válvulas de desfogue del agua de lavado y en las válvulas del falso fondo.
- Estudiar las posibilidades para la reutilización del agua de lavado en otras utilidades de la planta, como para el uso



en jardinería o para el lavado de algunas de las instalaciones de la Planta.

- Minimizar la frecuencia de lavado.
- Caracterización de las aguas de lavado.

9.6 INDICADORES DE DESEMPEÑO

Los indicadores son útiles para evaluar el impacto que las diferentes alternativas de

Producción Más Limpia implementadas tengan sobre el desempeño ambiental y financiero de la organización.

Los indicadores se definen como las medidas cuantitativas o las observaciones cualitativas que permiten identificar el desempeño de una variable en un período de tiempo o compararla con una actividad similar, permitiendo identificar qué tan bien está funcionando un sistema, si los resultados deseados se están logrando.

Ellos permiten establecer el nivel de una condición o un problema como punto de partida para la toma de decisiones a escala empresarial. Los indicadores correspondientes a la operación y lavado de los filtros se resumen en fichas ambientales.



9.6.1 Fichas con soluciones ambientales

Como se ha visto a lo largo de esta evaluación de los filtros en la PTM, la actividad de filtración genera impactos al ambiente debido al vertido del agua de lavado de los filtros a la quebrada de Mahuarcay, el cual pueden reducirse mediante prácticas de producción más limpia. Estas medidas se caracterizan por ser de fácil y rápida implementación y pueden llevarse a cabo en conjunto con la incorporación de mejores métodos de operación con los mencionados y estudiados en este documento los que permitirían obtener mayores resultados en términos ambientales y de productividad en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay.

Estas medidas se presentan a continuación en forma esquemática mediante fichas, las cuales proporcionan una serie de recomendaciones y puntos que se deben tener en cuenta en la aplicación de medidas tendientes a la reducción del consumo de agua y energía, el manejo adecuado de residuos, y la seguridad ocupacional, entre otros.

Junto con los pasos para la adopción de estas prácticas de producción más limpia, se incluyen los objetivos de la medida,



los indicadores ambientales necesarios para medir la efectividad de las prácticas y los impactos a prevenir o mitigar como consecuencia de la implementación.

Es muy importante que el personal de la Planta comprenda que el éxito de la implementación de estas prácticas sólo puede ser medido con ayuda de indicadores ambientales y de gestión. No puede demostrarse una adecuada gestión ambiental en la Planta si ésta no puede respaldar sus logros con el registro de sus resultados. Factores como la competitividad y la productividad pueden aumentarse gracias al control que los técnicos lleven sobre sus actividades e impactos ambientales.



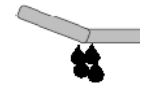
1

**BUENAS
PRACTICAS****USO ADECUADO DEL AGUA**

Objetivo de la Medida	Reducir el consumo de agua de lavado Hacer un uso eficiente del recurso agua
Indicadores	Cantidad de agua consumida por lavado de filtros m^3 / mes. Consumo de agua por filtro (m^3 / filtro lavado) Frecuencia de lavado de instalaciones por unidad de tiempo (N° filtros lavados/ día o mes). Costo de agua por filtro (\$ / filtro lavado)
Impactos a Manejar	Contaminación de cuerpos de agua por vertimiento de aguas residuales Despilfarro de los recursos naturales

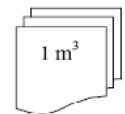
1

Revisión periódica de las válvulas del canal de lavado y falso fondo



2

Registro cotidiano de los consumos de agua de lavado y control estricto



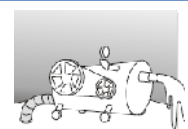
3

Llevar un registro de los consumos mensuales del agua de lavado y comparar con el mes anterior.



4

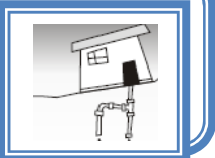
Diseñar la forma más adecuada de recolección de agua de lavado, para su recirculación al canal de sedimentación.



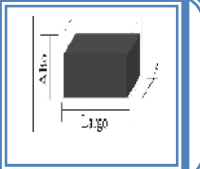
2 BUENAS PRACTICAS RECIRCULACION DE AGUA DE LAVADO

Objetivo de la Medida	Establecer parámetros para realizar adecuadamente la recolección del agua de lavado.
Indicadores	Cantidad de aguas residuales : m ³ Concentración de contaminantes : mg/L Cargas contaminantes : kg de contaminante/unidad de tiempo
Impactos a Manejar	Alteración de la calidad del agua superficial de la quebrada de Mahuarcay en caso de realizar vertimientos fuera de especificaciones. Generación de focos de infección y malos olores. Despilfarro de los recursos naturales


1 Conducir las aguas de lavado a un tanque de almacenamiento o sedimentación



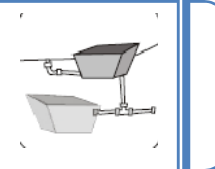
2 Medir el caudal de aguas de lavado generadas. Puede hacerse midiendo en cuanto tiempo se llena el canal que recoge el agua de lavado y calculándolo dividiendo el volumen del canal entre el tiempo que tarda en llenarse



3 Determinar el tiempo necesario de almacenamiento para que sedimenten los lodos



4 Recircular el agua desde el tanque de almacenamiento hasta el canal de agua sedimentada



3

BUENAS
PRACTICAS

HOJA DE VIDA DE LOS FILTROS

Objetivo de la Medida	Llevar un control de las reparaciones efectuadas en cada filtro para programar el mantenimiento de los filtros. Reducir el consumo de agua.
Indicadores	Costo mantenimiento de cada equipo/ mes (\$ / mes)
Impactos a Manejar	Mala calidad del efluente debida al mal funcionamiento de los filtros por mantenimiento inadecuado

1

Desarrollar un manual de operación y mantenimiento de los filtros



2

Capacitar al personal en la importancia de registrar correctamente las reparaciones efectuadas en los Filtros.



3

Asignar un número o código y un nombre para poder identificar cada filtro mediante un letrero o pictogramas



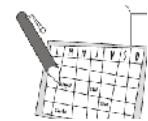
4

Cada técnico-operador debe registrar las acciones ejecutadas en los filtros



5

Llevar un cronograma mensual de las actividades de mantenimiento que debe realizarse por filtro según un plan de planificación.



4

**BUENAS
PRACTICAS**

MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA

Objetivo de la Medida	Establecer parámetros para realizar adecuadamente el mantenimiento y limpieza de las paredes y medio filtrante. Mantener limpia las instalaciones de los filtros
Indicadores	Cantidad total de agua usada (m ³ /mantenimiento)
Impactos a Manejar	Contaminación de la quebrada de Mahuarcay

1

No aplicar detergentes, desengrasantes o compuestos parecidos en las paredes, ni en el lecho filtrante. Las superficies de las paredes deberán ser enjuagadas con agua limpia.



2

Cada operador debe registrar el tiempo inicial y final del mantenimiento del filtro.



3

Cuantificar el agua usada en el mantenimiento por unidad de tiempo



4

En caso de encontrar anomalías en las paredes, medio filtrante o accesorios comunicar al Jefe de Plantas.



5

Asegurar que la o las personas que realicen el mantenimiento o lavados usen los equipos de protección necesarios





10.- "No pondrás en riesgo a los seres que viven en ella, actuando como dueño de la naturaleza, cuando, en verdad, eres sólo un eslabón de la cadena".



10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 CONCLUSIONES

- La operación de los filtros es de tasa declinante, con una relación de $u_{f\text{máx}} / u_{f\text{prom}} = 1.38$, menor a lo establecido en el diseño y a lo recomendado por la CEPIS.
- Cada batería tiene cuatro filtros lo que permite que sean autolavables.
- Las unidades de filtración están operando en promedio con una velocidad de filtración de $250 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$, ligeramente superior a lo establecido en el diseño y encontrándose dentro del rango recomendado por la CEPIS.
- En cuanto a calidad inicial de agua producida en la batería de filtración, se puede asegurar que la turbiedad es menor a 1 NTU, hallándose en un rango promedio entre 0.20 y 0.50 NTU, muy por debajo a lo establecido por el CEPIS.



- La carrera de filtración está en el límite inferior del rango señalado por el CEPIS.

- Las pruebas realizadas determinaron que la expansión del medio es inferior en los filtros 1, 2, 3, 5 y 6, mientras que en los filtros 4, 7 y 8 están ligeramente por encima de lo establecido en el diseño y lo recomendado por el CEPIS.

- El tiempo óptimo de lavado para las unidades de filtración cuando se rastrillado el medio filtrante es de 18 minutos para los filtros cuyo lecho fueron anteriormente cambiados (1, 2, 3, 5 y 6), este tiempo es superior al tiempo contemplado en el diseño y a lo indicado por el CEPIS; y de 15 minutos para los filtros que fueron recientemente cambiados los medios filtrantes (4, 7 y 8), tiempo superior a lo contemplado en el diseño y en límite superior del rango indicado por el CEPIS.

- El resultado de los ensayos indica que la velocidad de lavado de las unidades es menor a 0.6 m/min en los filtros 1, 2, 3, 5 y 6, mientras que en los filtros 4, 7 y 8 es igual a lo establecido en el diseño y dentro del rango recomendado por el CEPIS.

- El resultado granulométrico nos indica que el tamaño ó diámetro efectivo (de) de la antracita de los filtros 1, 5 y 6



resultaron ser iguales al de diseño; de los filtros 2 y 3 están dentro de lo recomendado por el CEPIS, pero en cambio el tamaño ó diámetro efectivo del lecho filtrante, de los filtros 4, 7 y 8 están fuera del rango recomendado por la CEPIS y tampoco concuerda con las características de diseño. El tamaño ó diámetro efectivo (de) de la arena de los filtros 1, 5 y 6 resultaron ser iguales al de diseño; los filtros 1, 2, 3, 5 y 6 están dentro de lo recomendado por el CEPIS, pero en cambio el tamaño ó diámetro efectivo del lecho filtrante, de los filtros 1, 5 y 6 están fuera del rango recomendado por la CEPIS y tampoco concuerda con las características de diseño.

- El lecho filtrante de las unidades carecen de bolas de barro. Según el criterio del CEPIS, siete filtros están clasificados como Excelentes, y uno está clasificado como bueno en lo referente a condiciones del medio filtrante.
- Las unidades de filtración presentan espesores del medio filtrante entre 62 y 65 cm, a excepción del filtro cuatro que tiene un espesor de 52 cm.
- De acuerdo al cuadro 53, todos los filtros presentan condiciones eficientes de operación, a excepción del filtro uno y



filtro cinco que tienen condiciones buenas, esto hace pensar que estos filtros pasaron de condición eficiente a buena, por lo que se tendría que tomar las precauciones del caso para evitar que pasaran condiciones regulares y pero aún a malas condiciones.

➤ Todos los filtros trabajarían en eficientes condiciones si al lavar los mismos se usa el método propuesto el apartado 9.1, ya que mejorarían las características de velocidad de lavado, expansión del medio y duración del lavado en todos los filtros, sobre todo en los filtros uno y cinco.

➤ Si se aplicara el método propuesto en el acápite 9.1 se ahorraría 2574 m^3 por lavar un menor número de filtros, que representaría un 0.86% de la producción mensual; si también el agua que se descarga del filtro antes de proceder al lavado se recirculara en lugar de botarlo a la quebrada se economizaría 2176 m^3 , que representa un 0.84 %, si sumamos los dos ahorros estaríamos hablando de un ahorro mensual de 4750 m^3 que representa un 1.8 % del total producido en la Planta por mes, aumentando la producción en esa misma proporción.



➤ Luego de los ensayos realizados se ha podido determinar que cuando se lava un filtro y se rastrilla el medio filtrante se consigue un menor tiempo de lavado, carreras de filtración más largas, así como una mejor expansión de lecho filtrante.

10.2 RECOMENDACIONES

➤ Invertir el orden de lavado de los filtros por unos seis meses para evitar que los filtros uno y cinco se colmaten demasiado, de esta manera podrán tener un mejor lavado ya que al ser los últimos filtros que se lavan respectivamente de cada batería tomarán un buen caudal de los filtros anteriormente lavado, luego de este tiempo se sugiere alternar nuevamente el orden de lavado y así sucesivamente.

➤ Se recomienda trabajar durante un mes completo con el método propuesto en el apartado 9.1, pero para esto antes se debería instalar unas canastillas como la presentadas en la figura 69, con el propósito de retener el material que se podría perder en el lavado del medio filtrante y de ser así se cuantificaría la misma para regresar al lecho o para establecer la cantidad que hay que reponer.



- Es importante destacar que estos ensayos deberían determinarse cada 6 meses, ya que el medio filtrante se va deteriorando con el tiempo y sobre todo con el lavado del medio filtrante.
- Todas las estructuras hidráulicas, accesorios, equipos, etc., que intervienen en la filtración son de vital importancia, puesto a que si alguno de ellos no cumple su función en el proceso, éste se ve deteriorado tanto en la calidad como en la cantidad, es por ello que se recomienda la ejecución de planes de contingencia y emergencia en el mantenimiento y proceso de producción de los filtros.
- Es recomendable lo más pronto en realizar un estudio de factibilidad de recircular el agua de lavado de los filtros, ya que de ser así se estaría hablando de un ahorro de 5400 m³ mensual de agua que representa un 2% de la producción.
- Se debe reparar las válvulas de desfogue del agua de lavado de los filtros cinco y siete, ya que por las mismas se está perdiendo gran cantidad de agua, se aforaron dichas fugas y éstas representan un 1.27% de la producción mensual.



- Al estar sumergida cada tubería que permite el ingreso de agua sedimentada a cada filtro presenta oxidación que puede afectar la calidad del agua, razón por la cual es necesario la protección de ésta tubería con pintura idónea para este tipo de trabajo.
- Finalmente se espera que esta Monografía sirva para orientar en la Evaluación, de alguna Planta de Agua Potable que tenga características similares al de Mahuarcay.
- Se recomienda colocar los 5 cm de antracita que falta en todos los filtros y los 15cm en el filtro cuatro, con el propósito de cumplir lo especificado en la memoria técnica de diseño.



ANEXO 4

Determinación de la velocidad de filtración tomando como referencia cinco minutos de descenso del agua

FECHA	# FILTRO	ALTURA INICIAL (m)	ALTURA FINAL (m)	VARIACION DE ALTURA (m)	TIEMPO (s)	VOLUMEN DE AGUA FILTRADA m ³	AREA DEL FILTRO (m ²)	AREA DEL LECHO FILTRANTE (m ²)	VELOCIDAD DE FILTRACION (m ³ /m ² .d)	CAUDAL DE FILTRACION (l/s)
06/07/2009	1	0,5	0,97	0,47	300	3,102	6,6	4,8	186,12	10,34
06/07/2009	2	0,73	1,26	0,53	300	3,498	6,6	4,8	209,88	11,66
06/07/2009	3	0,57	1,09	0,52	300	3,432	6,6	4,8	205,92	11,44
06/07/2009	4	0,76	1,35	0,59	300	3,894	6,6	4,8	233,64	12,98
06/07/2009	5	0,84	1,44	0,6	300	3,96	6,6	4,8	237,6	13,2
06/07/2009	6	0,44	0,76	0,32	300	2,112	6,6	4,8	126,72	7,04
06/07/2009	7	0,525	0,94	0,415	300	2,739	6,6	4,8	164,34	9,13
06/07/2009	8	0,47	0,875	0,405	300	2,673	6,6	4,8	160,38	8,91

Al sumar los caudales individuales nos da un caudal total $Q=84.7$ l/s, en ese momento la planta trabaja con un caudal de 102 l/s.

FECHA	# FILTRO	ALTURA INICIAL (m)	ALTURA FINAL (m)	VARIACION DE ALTURA (m)	TIEMPO (s)	VOLUMEN DE AGUA FILTRADA m ³	AREA DEL FILTRO (m ²)	AREA DEL LECHO FILTRANTE (m ²)	VELOCIDAD DE FILTRACION (m ³ /m ² .d)	CAUDAL DE FILTRACION (l/s)
08/07/2009	1	0,8	1,26	0,46	300	3,036	6,6	4,8	182,16	10,12
08/07/2009	2	0,58	0,95	0,37	300	2,442	6,6	4,8	146,52	8,14
08/07/2009	3	0,52	0,81	0,29	300	1,914	6,6	4,8	114,84	6,38
08/07/2009	4	0,75	1,06	0,31	300	2,046	6,6	4,8	122,76	6,82
08/07/2009	5	0,54	0,935	0,395	300	2,607	6,6	4,8	156,42	8,69
08/07/2009	6	0,75	1,16	0,41	300	2,706	6,6	4,8	162,36	9,02
08/07/2009	7	0,87	1,37	0,5	300	3,3	6,6	4,8	198	11
08/07/2009	8	0,97	1,55	0,58	300	3,828	6,6	4,8	229,68	12,76

Al sumar los caudales individuales nos da un caudal total $Q=72.93$ l/s, en ese momento la planta trabaja con un caudal de 95 l/s.



ANEXO 5

Determinación de la velocidad de filtración tomando como referencia tres minutos de descenso del agua.

FECHA	# FILTRO	ALTURA INICIAL (m)	ALTURA FINAL (m)	VARIACION DE ALTURA (m)	TIEMPO (s)	VOLUMEN DE AGUA FILTRADA m ³	AREA DEL FILTRO (m ²)	AREA DEL LECHO FILTRANTE (m ²)	VELOCIDAD DE FILTRACION (m ³ /m ² .d)	CAUDAL DE FILTRACION (l/s)
09/07/2009	1	0,67	0,835	0,165	180	1,122	6,8	4,8	112,2	6,2333333
09/07/2009	2	0,77	1	0,23	180	1,564	6,8	4,8	156,4	8,6888889
09/07/2009	3	0,67	0,915	0,245	180	1,666	6,8	4,8	166,6	9,2555556
09/07/2009	4	0,79	1,09	0,3	180	2,04	6,8	4,8	204	11,3333333
09/07/2009	5	0,71	0,98	0,27	180	1,836	6,8	4,8	183,6	10,2
09/07/2009	6	0,72	1,08	0,36	180	2,448	6,8	4,8	244,8	13,6
09/07/2009	7	1,01	1,435	0,425	180	2,89	6,8	4,8	289	16,055556
09/07/2009	8	0,76	1,19	0,43	180	2,924	6,8	4,8	292,4	16,244444

Al sumar los caudales individuales nos da un caudal total $Q=91.6$ l/s, en ese momento la planta trabaja con un caudal de 102 l/s.

FECHA	# FILTRO	ALTURA INICIAL (m)	ALTURA FINAL (m)	VARIACION DE ALTURA (m)	TIEMPO (s)	VOLUMEN DE AGUA FILTRADA m ³	AREA DEL FILTRO (m ²)	AREA DEL LECHO FILTRANTE (m ²)	VELOCIDAD DE FILTRACION (m ³ /m ² .d)	CAUDAL DE FILTRACION (l/s)
12/07/2009	1	0,58	0,9	0,32	180	2,176	6,8	4,8	217,6	12,088889
12/07/2009	2	0,785	1,165	0,38	180	2,584	6,8	4,8	258,4	14,355556
12/07/2009	3	0,665	1,05	0,385	180	2,618	6,8	4,8	261,8	14,544444
12/07/2009	4	0,85	1,26	0,41	180	2,788	6,8	4,8	278,8	15,488889
12/07/2009	5	0,915	1,285	0,37	180	2,516	6,8	4,8	251,6	13,977778
12/07/2009	6	0,635	0,815	0,18	180	1,224	6,8	4,8	122,4	6,8
12/07/2009	7	0,725	0,99	0,265	180	1,802	6,8	4,8	180,2	10,011111
12/07/2009	8	0,62	0,89	0,27	180	1,836	6,8	4,8	183,6	10,2

Al sumar los caudales individuales nos da un caudal total $Q=97.4$ l/s, en ese momento la planta trabaja con un caudal de 107 l/s.



BIBLIOGRAFIA

Manual I: El Agua-Calidad y Tratamiento Para Consumo Humano. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Julio, 1992.

Manual I: Manual II: Diseño de plantas de tecnología apropiada. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). 2004.

Manual III: Teoría. Tratamiento de Filtración Rápida. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Julio, 1992.

Manual IV: Evaluación, Filtración Rápida.: Procesos – Tecnología convencional. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, CEPIS. Julio 1992.

“Evaluación del proceso de filtración de la Planta de Tratamiento de agua Lo de Coy”. Tesis de graduación, Guatemala, noviembre de 1996.



Calidad del Agua: Jairo Alberto Rojas Romero Rojas. Bogotá
2002

Calidad y Tratamiento del Agua. Manual de **suministros
de agua comunitaria**. American Water Works Association.
2002.

**Memoria Técnica, Memoria de Cálculo, especificaciones
técnicas de la Planta de Tratamiento de Mahuarca y**. Ing.
Galo Ordoñez. Septiembre. 2002



GLOSARIO

AFLUENTE: Agua que entra a una unidad de tratamiento, o inicia una etapa, o el total de un proceso de tratamiento.

AGUA POTABLE: Agua apta para el consumo humano.

BOLAS DE LODO: Resultado final de la aglomeración de granos de arena y lodo en un lecho filtrante, como consecuencia de un lavado defectuoso o insuficiente.

CAJA DE FILTRO: Estructura dentro de la cual se emplaza la capa soporte y el medio filtrante, el sistema de drenaje, el sistema colector del agua de lavado, etc.

CALIDAD DE AGUA: Características físicas, químicas, y bacteriológicas del agua que la hacen aptas para el consumo humano.

CARRERA DE FILTRO: Intervalo entre dos lavados consecutivos de un filtro, siempre que la filtración sea continua en dicho intervalo. Generalmente se expresa en horas.

COAGULACIÓN: Proceso mediante el cual se desestabiliza o anula la carga eléctrica de las partículas presentes en una suspensión, mediante la acción de una sustancia coagulante para su posterior aglomeración en el floculador.

COLMATACIÓN DEL FILTRO: Efecto producido por la acción de las partículas finas que llenan los intersticios del medio



filtrante de un filtro o también por el crecimiento biológico que retarda el paso normal del agua.

EFLUENTE: Agua que sale de un depósito o termina una etapa o el total de un proceso de tratamiento.

EVALUACIÓN: Proceso de confrontación (comparación, cotejo) de los resultados obtenidos de las acciones realizadas, con las metas previamente establecidas, proceso que analiza las causas del logro o no de las metas, mide la eficiencia, eficacia, productividad y congruencia entre otros mediante indicadores, puede o no desembocar en la elaboración de acciones de ajuste, mejora y/o desarrollo.

ENSUCIAMIENTO: Fenómeno resultante de la acumulación de partículas y materia disuelta en la superficie de una membrana, causando una importante resistencia de filtración.

DESINFECCIÓN: La desinfección del agua destinada al abastecimiento público es el proceso mediante el cual se destruyen los organismos (patógenos) presentes en ella, que son capaces de producir enfermedades al ser humano.

FILTRACIÓN: Es un proceso terminal que sirve para remover del agua los sólidos o materia coloidal más fina, que no alcanzó a ser removida en los procesos anteriores.

FLOCULACIÓN: Formación de partículas aglutinadas o flóculos. Proceso inmediato a la coagulación.



FLOCULADOR: Estructura diseñada para crear condiciones adecuadas para aglomerar las partículas desestabilizadas en la coagulación y obtener flóculos grandes y pesados que decanten con rapidez y que sean resistentes a los esfuerzos cortantes que se generan en el lecho filtrante.

FLÓCULOS: Partículas desestabilizadas y aglomeradas por acción del coagulante.

GRANULOMETRÍA DE FILTRACIÓN: Tamaño máximo de paso de una superficie de filtración.

INDICADOR: Dimensión utilizada para medir un estado; unidad de medida que se establece ex ante para medir los resultados efectivamente obtenidos en la ejecución de un programa, proyecto o actividad precisar el avance en el desarrollo de una función; elemento constitutivo del diagnóstico y de la evaluación

LODOS: Uno de los aspectos más críticos en la operación de las plantas de tratamiento, es el manejo de los lodos que se producen durante los procesos de sedimentación y filtración. Estos provienen de la coagulación con sulfato de aluminio, de compuestos férricos, o de la remoción del color de turbiedad del agua

MANTENIMIENTO: Mantenimiento es el conjunto de acciones internas que se ejecutan en las instalaciones o equipos de una



planta de tratamiento, para prevenir daños o para su reparación cuando en estos ya se hubieran producido algún tipo de daño a fin de conseguir el buen funcionamiento del sistema.

MUESTRA: Parte (alícuota) del universo de los objetos de interés que contiene un o varios analitos.

OBJETIVO: Propósito o fin que se pretende alcanzar con la realización de una operación, actividad, procedimiento o función.

OPERACIÓN: Operación, el conjunto de acciones externas que se ejecutan en las instalaciones o equipos de una planta de tratamiento para conseguir el buen funcionamiento del sistema. Se dice que son acciones externas porque no alteran la naturaleza ni las partes constitutivas de las instalaciones o equipos.

PARÁMETRO: Es una medida constante e invariable de un elemento o compuesto, que sirve de referencia para llevar a cabo un análisis .

pH: El término pH es usado para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución e indica la actividad del ión hidrógeno más que su concentración. Este parámetro es de gran importancia en los diferentes procesos de tratamiento del agua, por ejemplo en la coagulación química, en la desinfección, en el control de la corrosión, etc.



POTABILIZACIÓN: Es el proceso mediante el cual se transforma el agua cruda en Agua Potable.

PROCEDIMIENTO: Sucesión cronológica de operaciones concatenadas entre sí que constituyen una unidad dentro de un ámbito determinado de aplicación.

SEDIMENTACIÓN: Proceso de remoción de partículas discretas por acción de la fuerza de gravedad.

TASA DE APLICACIÓN SUPERFICIA: Caudal de agua aplicado por unidad de superficie.

TASA CONSTANTE DE FILTRACIÓN: Condición de operación de un filtro en la que se obliga a éste a operar a un mismo caudal a pesar de la reducción de la capacidad del filtro por efecto de la colmatación.

TASA DECLINANTE DE FILTRACIÓN: Condición de operación de un filtro en el que la velocidad de filtración decrece a medida que se colmata el filtro.

TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE: Remoción por métodos naturales o artificiales de todas las materias objetables presentes en el agua, para alcanzar las metas especificadas en las normas de calidad de agua para consumo humano.

TURBIEDAD: Es una medida de la reducción de la intensidad de la luz que pasa a través del agua.