



Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación
COSUDE



Organización Panamericana de la Salud (OPS)
Organización Mundial de la Salud (OMS)
Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias
del Ambiente (CEPIS)

FILTROS DE MESA

Ricardo Rojas Vargas
Sixto Guevara Vásquez

Lima, 2000

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción
2. Antecedentes
3. Objetivos
 - 3.1 Objetivo general
 - 3.2 Objetivos específicos
4. Teoría de la filtración
5. Procedimiento evaluativo
6. Características de los filtros evaluados
 - 6.1 Filtro de velas filtrantes
 - 6.2 Filtro de velas filtrantes con prefiltro de arena
 - 6.3 Filtro de arena
7. Resultados
8. Discusión de resultados
9. Conclusiones
10. Recomendaciones

FILTROS DE MESA

Ricardo Rojas, Coordinador de la Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural (UNATSABAR)
Sixto Guevara, Investigador de la UNATSABAR

1. INTRODUCCIÓN

Los filtros de mesa fueron una de las tecnologías empleadas en los sistemas locales de desinfección de agua y alimentos en el nivel domiciliario. Dichos sistemas de desinfección se implementaron como parte del Convenio de Cooperación Técnica entre el Ministerio de Salud del Perú y la Organización Panamericana de la Salud a través del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

Los primeros filtros del estudio estaban equipados con elementos filtrantes de cerámica, conocidos como velas filtrantes, los mismos que son importados y de difícil adquisición en el mercado local. Estas velas sufrieron una rápida obturación debido a la turbiedad compuesta por partículas coloidales y supra coloidales. De este modo, la vida media de los elementos filtrantes fue muy corta debido al acelerado desgaste por los frecuentes lavados trayendo como consecuencia que el abandono del filtro

Luego se experimentó con un prefiltro de arena seleccionada que cubría la vela filtrante; así, gran parte de las partículas en suspensión quedan retenidas en la arena, aumentando la carrera de filtración y por ende la vida media de las velas filtrantes.

Finalmente, se usaron filtros totalmente de arena sin velas filtrantes obteniéndose una alta remoción de turbiedad, aumento de la vida útil y una mayor sostenibilidad en el tiempo, en vista que puede ser mantenido por el usuario con un mínimo de atención.

Este Informe Técnico, realizada con el apoyo de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), presenta los resultados de los ensayos realizados para determinar las condiciones de operación y mantenimiento de los tres tipos de filtros de mesa evaluados.

2. ANTECEDENTES

Generalmente, las aguas naturales contienen numerosos gérmenes, algunos de los cuales pueden ser patógenos. Estos gérmenes patógenos suelen estar en el suelo o en las aguas contaminadas con excreta humana o animal. De este modo, el agua se convierte en un vehículo de transmisión de enfermedades como: cólera, tifoidea, paratifoidea, hepatitis, disentería amebiana y viral y otras.

En la actualidad, la mayor parte de las poblaciones rurales de los países en vías de desarrollo se abastece de agua no apta para consumo. Como consecuencia de ello, los índices de enfermedades relacionadas con el agua son altos. Sin embargo, estas enfermedades pueden prevenirse por medio de la desinfección u otras técnicas que mejoran la calidad bacteriológica del agua de consumo humano, como es la filtración.

En los países en vías de desarrollo, el abastecimiento de desinfectante a ciudades apartadas o comunidades rurales, es muy complicada, debido a la falta de vías de comunicación adecuadas y/o un ineficaz sistema de distribución del desinfectante.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general:

Evaluar y mejorar la capacidad de filtración de los filtros de mesa equipados con velas filtrantes.

3.2 Objetivos específicos:

- ≠Determinar la relación entre contenido de turbiedad y cantidad de agua producida;
- ≠Determinar el comportamiento de la tasa de filtración con respecto al tiempo de filtración; y
- ≠Establecer las condiciones de trabajo de los filtros de mesa equipados con velas filtrantes.

4. TEORÍA DE LA FILTRACIÓN

El objetivo de la filtración y específicamente de la microfiltración mediante elementos de cerámica, es separar las partículas en suspensión y los microorganismos perjudiciales que contenga el agua destinada al consumo humano. Los filtros de arena o de velas filtrantes pueden remover las partículas de tamaño mayor y menor que el poro del medio filtrante. Las partículas mayores son retenidas por el simple efecto físico de cernido y las pequeñas por adherencia a la superficie de las capas superficiales del elemento filtrante. Esta adherencia forma una película cuya resistencia al esfuerzo cortante por el flujo de agua depende de la magnitud de la fuerza que la mantiene unida. Este último mecanismo disminuye la tasa de filtración y la cantidad de agua filtrada.

El proceso de filtración en material granular es similar que en el material cerámico y ocurre en dos etapas distintas pero complementarias: a) transporte de las partículas dentro de los poros, y b) adherencia al material filtrante.

El efecto de transporte es debido a fenómenos físicos e hidráulicos influenciados por los factores que gobiernan la transferencia de masas. Mientras la adherencia es debida a fenómenos de acción superficial influenciados por los parámetros fisicoquímicos del agua.

Los mecanismos de transporte están representados por la acción de:

- Cernido
- Sedimentación
- Interceptación
- Difusión
- Impacto inercial
- Acción hidrodinámica

Los mecanismos de adherencia se deben a las:

- Fuerzas de Van de Waals
- Fuerzas electroquímicas
- Puente químico

Debido a que en los filtros de mesa no se emplean productos químicos para obtener la clarificación del agua, el mecanismo de puente químico es despreciable, mas no los restantes mecanismos.

Por otro lado, debido a la poca carga de agua sobre los medios filtrantes y las bajas velocidades de filtración, el esfuerzo de corte es mínimo, lo que aunado a la baja porosidad del medio filtrante, permite obtener agua con muy baja turbiedad y una alta eficiencia en la remoción de bacterias.

5. PROCEDIMIENTO EVALUATIVO

Las pruebas se desarrollaron en dos etapas: en la primera se empleó agua limpia de una turbiedad menor a 1,0 UNT y en la segunda, agua turbia con 50 y 500 UNT. En la primera etapa se probó únicamente el filtro de velas filtrantes con una carga variable de agua. En la segunda etapa se probaron los tres tipos de filtros con una carga constante de agua de 31 cm correspondiente a la máxima capacidad de almacenamiento de la

unidad filtrante. Estos tres tipos de filtros son: filtro equipado solamente con velas filtrantes, filtro de velas filtrantes con prefiltro de arena; y el tercero, filtro únicamente de arena.

6. CARACTERÍSTICAS DE LOS FILTROS EVALUADOS

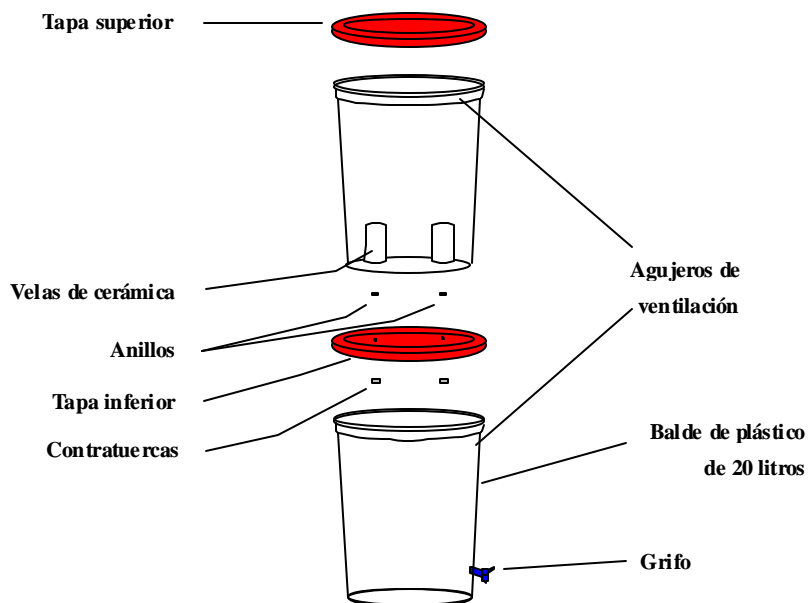
6.1 Filtro de velas filtrantes

Este filtro de mesa está compuesto por dos baldes de polietileno de alta densidad de 20 litros cada uno. Estos son colocados uno sobre la tapa del otro, de manera que el balde superior contenga las dos velas filtrantes.

Para este fin, en la base del balde superior y la tapa del balde inferior se perforan dos agujeros coincidentes donde se insertan las espigas de las velas filtrantes. Entre la base del balde y la tapa inferior se colocan anillos de plástico coincidentes con las espigas de las velas a fin de darle mayor rigidez a la unión cuando se aseguren los elementos filtrantes y de este modo, evitar la fuga del agua.

Este conjunto se coloca sobre el segundo balde al cual se le perfora en la parte superior un agujero de ventilación de 3 mm de diámetro para facilitar la filtración del agua. En la figura 1 se presentan las características físicas de la unidad de filtración evaluada.

Figura 1. Filtro de mesa con velas filtrantes



Las velas de filtración empleadas en la investigación y fabricadas por industrias Pozzani fueron importadas del Brasil. Las características de las velas filtrantes son las siguientes:

Material:	cerámica
Color:	crema
Forma:	cilíndrica
Longitud:	9,5 cm
Diámetro:	5,5 cm
Espesor de pared:	4,5 mm

6.2 Filtro de velas filtrantes con prefiltro de arena

Las características constructivas de este filtro es similar a la anterior, a excepción que se coloca sobre las velas, una capa de arena seleccionada de un tamaño efectivo de 0,3 mm y un coeficiente de uniformidad 2. La capa de arena debe cubrir los elementos filtrantes hasta 5 centímetros por encima de la parte superior del elemento filtrante.

Para no perturbar la superficie de la arena por el llenado de agua de la unidad de filtración, se coloca encima de la capa de arena, una pieza de geotextil sujeta con un anillo hecho de manguera plástica y relleno con arena para darle mayor peso y evitar que flote. Los detalles se muestran en la figura 2.

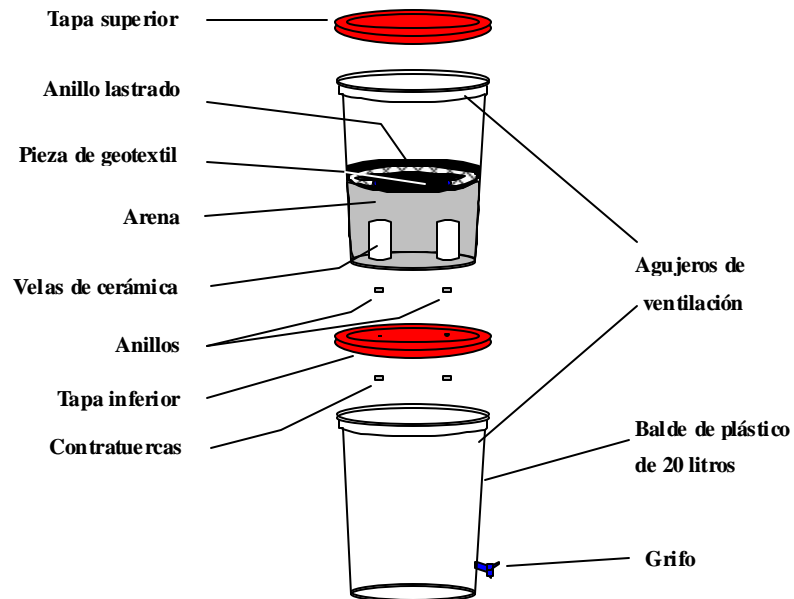
El geotextil empleado en las pruebas fue de las siguientes características:

Permeabilidad	0,40 - 0,60 cm/s
Permitividad	2,10 - 2,28 s ⁻¹
Tamaño aparente de abertura	
- Malla US	100 - 70
- mm	0,15 - 0,20
Espesor de la pieza	2,0 - 2,5 mm
Material:	Geotextil no tejido de polipropileno y resistente a la radiación UV.

Las características de la arena son:

Tamaño efectivo:	0,3 mm
Coefficiente uniformidad:	2,0
Tamaño mínimo:	0,25 mm
Tamaño máximo:	0,84 mm

Figura 2. Filtro de velas filtrantes con prefiltro de arena



6.3 Filtro de arena

Este modelo de filtro considera el uso solamente de arena seleccionada, con un tamaño efectivo de 0,3 mm y coeficiente de uniformidad de 2,0. La tasa de filtración se controla mediante un reductor de caudal confeccionado con un microtubo de un milímetro de diámetro interior y 20 centímetros de longitud. La tasa mínima que se puede obtener con una carga mínima de ocho litros de agua es de $0,68 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \times \text{día})$ equivalente a 1,7 litros de agua por hora o un volumen de 40 litros por día de agua filtrada. A fin de evitar el ingreso de arena al interior del microtubo que pudiera perjudicar su funcionamiento, se coloca en un extremo del microtubo un empaque de geotextil que actúa como drenaje. El reductor de caudal se instala de modo que el extremo con el empaque esté cubierto totalmente por la arena filtrante y que el otro extremo se comunique con el exterior a través de un orificio en el balde en el nivel de la capa superior de arena. Esto último evita la formación de bolsas de aire en la arena cuando el nivel de agua es bajo.

Al igual que el filtro anterior, a fin de evitar la perturbación de la superficie de la arena por acción del llenado de agua de la unidad de filtración, se coloca una pieza de geotextil sujetada con un anillo hecho de manguera plástica relleno con arena para darle mayor peso y evitar que flote. Las detalles se muestran en la figura 3.



7. RESULTADOS

Los resultados de la primera etapa se presentan en la Tabla 1 y los de la segunda etapa se presentan en las Tablas del 2 al 4.

Tabla 1. Filtro de velas filtrantes (agua clara)

CARGA DE AGUA*		TASA DE FILTRACIÓN $\text{m}^3/(\text{m}^2 \times \text{día})$	MÁXIMO VOLUMEN FILTRADO POR DÍA (litros)
En altura (cm)	En volumen (litros)		
31,0	20	3,2	120
25,0	16	2,9	110
20,5	13	2,5	95
10,7	8	1,4	55

* Con respecto al nivel de la base del balde

Tabla 2. Filtro de velas filtrantes

50 UNT			500 UNT		
TIEMPO h:mm:ss	VOLUMEN FILTRADO (litros)	TASA m ³ /(m ² x día)	TIEMPO h:mm:ss	VOLUMEN FILTRADO (litros)	TASA m ³ /(m ² x día)
1:11:00	12	3,10	0:39:00	4	2,11
1:17:50	13	3,63	0:51:00	5	2,19
1:50:00	17	2,89	2:07:40	10	2,86
2:30:10	23	3,92	2:27:40	12	1,93
3:15:40	29	2,92	3:14:20	15	1,42
5:49:35	44	2,21	5:03:50	20	0,97
10:36:50	74	3,84	10:34:30	40	0,70
14:29:46	80	0,56	14:41:00	45	0,44
21:49:35	93	0,30	32:09:50	50	0,13

Tabla 3. Filtro de vela filtrantes con prefiltro de arena

50 UNT			500 UNT		
TIEMPO hh:mm:ss	VOLUMEN FILTRADO (litros)	TASA m ³ /(m ² x día)	TIEMPO hh:mm:ss	VOLUMEN FILTRADO (litros)	TASA m ³ /(m ² x día)
0:49:30	10	6,02	0:29:35	8	6,71
1:17:13	17	6,37	0:58:40	16	6,83
1:30:50	20	6,47	1:43:06	29	7,02
2:19:56	32	6,73	2:44:37	45	6,77
3:19:56	46	6,73	3:50:37	63	6,77
4:19:57	58	6,52	4:21:12	68	6,49
5:43:07	69	6,03	5:35:05	87	6,48
6:16:57	75	5,97	6:35:05	103	6,48
7:16:57	87	5,97	7:48:05	122	6,48
8:28:57	102	5,97	9:10:25	144	6,48
10:50:56	135	6,14	11:07:31	190	5,96
15:20:31	207	5,26	14:50:36	250	4,97
19:15:30	264	5,38	18:33:36	312	4,97
24:05:30	331	5,26	23:50:00	401	4,95
27:13:32	376	5,81	26:57:00	453	4,97
30:13:32	413	5,81	30:02:02	503	4,81

Tabla 4. Filtro de arena

50 UNT			500 UNT		
TIEMPO hh:mm:ss	VOLUMEN FILTRADO (litros)	TASA m ³ /(m ² x día)	TIEMPO hh:mm:ss	VOLUMEN FILTRADO (litros)	TASA m ³ /(m ² x día)
0:29:45	2,0	1,66	0:21:36	1,5	1,77
1:02:47	4,1	1,62	1:51:58	7,8	1,73
2:18:17	9,2	1,66	2:54:24	12,2	1,73
3:25:47	13,7	1,66	3:58:50	16,7	1,73
4:27:17	17,8	1,66	4:32:35	18,2	1,66
4:59:11	18,7	1,55	5:15:33	21,5	1,69
5:40:45	21,8	1,58	6:16:59	26,3	1,73
6:42:19	25,7	1,58	7:54:25	33,1	1,73
8:35:37	35,2	1,69	9:06:31	39,0	1,77
9:32:05	39,0	1,69	10:09:41	39,8	1,62
10:38:23	38,3	1,49	13:53:09	56,8	1,69
14:17:01	52,5	1,52	17:38:35	73,9	1,73
18:16:35	70,0	1,58	20:42:03	84,7	1,69
21:22:05	85,5	1,66	23:49:05	95,3	1,66

8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

8.1 Primera Etapa.- Filtro de velas filtrantes tratando agua clara.

Los resultados mostraron que para filtrar un volumen mayor a 20 litros de agua por día se requiere una carga mínima de 10,7 cm, equivalente a un volumen de 8 litros de agua. Con la carga máxima, esto es para los 31 cm, es posible filtrar hasta 120 litros de agua por día.

8.2 Segunda Etapa.- Filtros tratando agua turbia.

En el gráfico 1 se muestran las tendencias de las tasas de filtración para los tres tipos de filtros de mesa evaluados: velas filtrantes, velas filtrantes con prefiltro de arena y filtro de arena. En el gráfico 2 se presenta la capacidad total de producción de agua filtrada hasta alcanzar la tasa mínima de filtración y establecida en 0,5 m³/(m²x día) para los filtros de velas filtrantes y 0,35 m³/(m²x día) para los filtros de velas filtrantes con prefiltro de arena y el de arena sola. Ambas tasas de filtración, establecidas equivalen a una capacidad mínima de producción de 20 litros/día.

a) Filtro de velas filtrantes

Los resultados de la prueba demuestran que para aguas turbias, la tasa de filtración decae rápidamente, dejando de producir la cantidad mínima de agua (20 litros/día) en menos de 25 horas para una turbiedad de 50 UNT y de 15 horas de funcionamiento continuo para una turbiedad de 500 UNT. La baja carrera o tiempo de filtración determina una constante limpieza de las velas filtrantes y afecta la vida útil del filtro.

b) Filtro de velas filtrantes con prefiltro de arena.

En el caso del filtro de velas filtrantes con prefiltro de arena, se observa que la tasa de filtración decae más lentamente que en el caso del filtro de velas filtrantes solas. Esta menor declinación se traduce en una carrera

de filtración mucho mayor que permite el lavado más espaciado de las velas filtrantes y de la arena propiamente dicha.

De esta manera, para aguas con una turbiedad de 50 UNT se estima que la capacidad de producción de agua filtrada descende de 330 litros por día a 20 litros por día en 146 horas de funcionamiento continuo. Con una turbiedad de 500 UNT, la cantidad mínima de agua (20 litros/día) se alcanza después de 180 horas de operación ininterrumpida

c) **Filtros de arena.**

Este filtro se diseñó para que trabaje con una velocidad o tasa de filtración menor que los filtros equipados con velas filtrantes. La tasa de filtración promedio es de $1,7 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \times \text{día})$, equivalente a una máxima capacidad de producción de 97 litros de agua filtrada por día.

El filtro de mesa de arena, si bien tiene una tasa de filtración menor que los filtros equipados con velas filtrantes, tiene la ventaja que la gradiente de la velocidad o tasa de filtración le permite trabajar con aguas turbias hasta de 500 UNT durante 300 horas sin afectar la capacidad mínima de producción.

9. **CONCLUSIONES**

- 9.1 Los resultados de las pruebas indican que para aguas ligeramente turbias no es conveniente el empleo de filtros con velas filtrantes, ya que demandaran una limpieza continua a fin de recuperar la capacidad de filtración. El constante lavado de las velas filtrantes disminuye la vida útil del sistema de filtración con el grave riesgo de abandono de la unidad de filtración en el corto plazo por la falta de repuestos en el mercado nacional.
- 9.2 El empleo de arena como prefiltro conjuntamente con velas filtrantes incrementa la capacidad de producción del agua filtrada, con mayor lapso entre lavados de las velas filtrantes. Sin embargo, el lavado de las velas filtrantes debe ir acompañado del cambio de arena o lavado de la misma. Se estima que este tipo de filtro permite el empleo de las velas filtrantes por lo menos durante tres años consecutivos sin necesidad de cambiarlas. No obstante, este procedimiento no soluciona la dependencia de los repuestos.
- 9.3 El filtro de arena tiene la ventaja de que todos los componentes que intervienen en su fabricación pueden ser obtenidos en el mercado local sin depender de repuestos importados. Por otra parte, desde el punto de vista de producción de agua filtrada, este filtro supera ligeramente al filtro de velas filtrantes con prefiltro de arena. Se ha encontrado que la limpieza o el cambio de arena no reviste ninguna dificultad para el usuario. Sin embargo, las partes críticas para la construcción del filtro son: la selección del material filtrante y el reductor de caudal.
- 9.4 Considerando que la dotación de agua a ser suministrada a través de los filtros de mesa a cada familia es de 20 litros por día y que la mínima capacidad de producción ha sido definida en $0,50 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \times \text{día})$, mediante el filtro de velas filtrantes es posible obtener entre 50 y 100 litros de agua filtrada con lo cual se puede abastecer a una familia durante tres a cinco días consecutivos antes de proceder al lavado de la unidad de filtración. En el caso del filtro de velas filtrantes con prefiltro de arena, la cantidad de agua filtrada es de 1.000 litros, lo que permite atender a una familia durante 50 días consecutivos. Finalmente, en el caso del filtro de arena, la capacidad de producción es de 2.000 litros, lo que posibilita la atención de una familia durante 100 días consecutivos sin necesidad de lavar el filtro.

Gráfico 1

COMPARACIÓN DE TASAS DE FILTRACIÓN

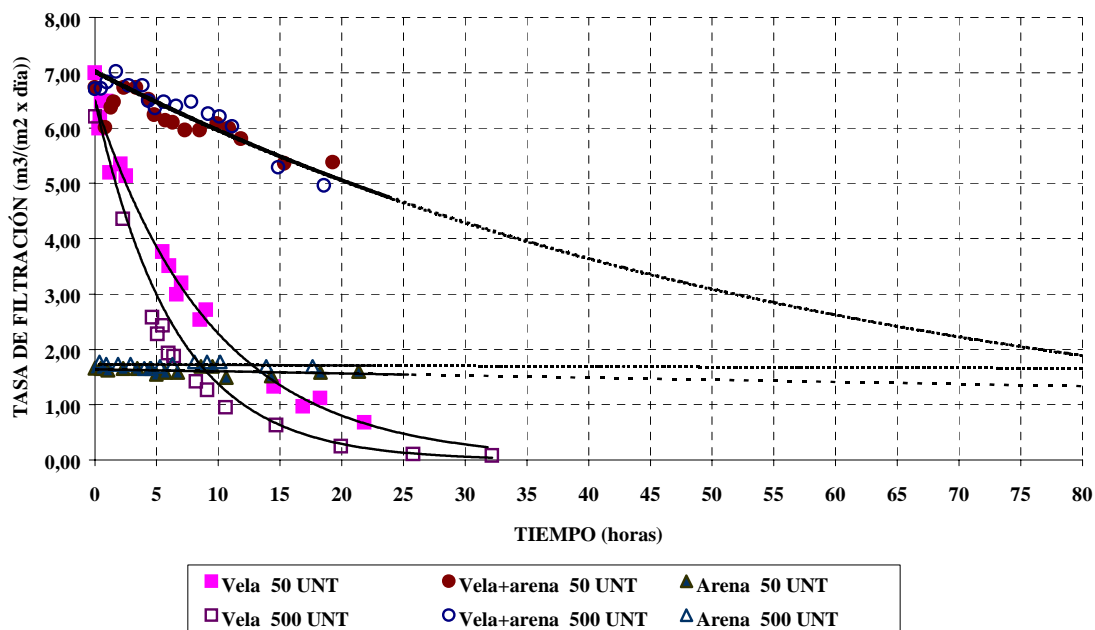
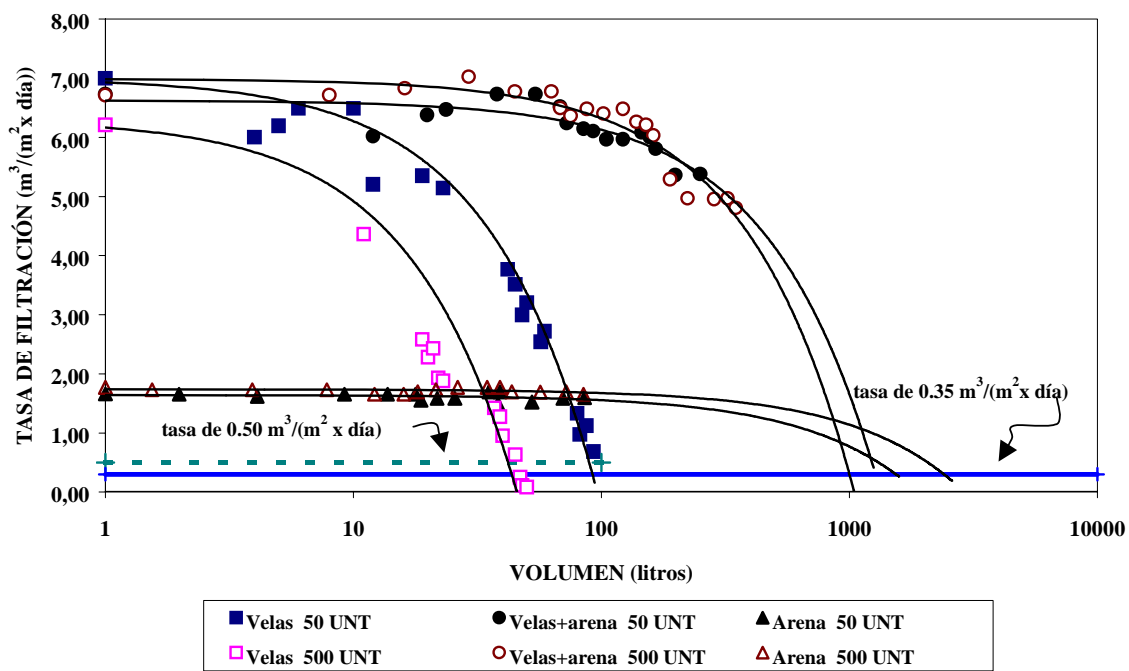


Gráfico 2



COMPARACIÓN DE VOLUMENES FILTRADOS

10. RECOMENDACIONES

- 10.1 El filtro de mesa de velas filtrantes, solamente debe ser empleado con aguas cristalinas o con aguas de una turbiedad menor a 5 UNT.
- 10.2 Para aguas con una turbiedad mayor a 5 UNT se debe emplear filtros de velas filtrantes con prefiltro de arena o filtros de arena a fin de incrementar la carrera de filtración.
- 10.3 Las aguas turbias y con baja concentración de coliformes acondicionadas por medio de filtros de arena pueden ser destinadas al consumo directo. En el caso de aguas crudas con concentraciones de coliformes mayor a 100 NMP/100 ml, la filtración deberá complementarse obligatoriamente con el proceso de desinfección para asegurar la buena calidad bacteriológica del agua de consumo humano.
- 10.4 En general, en los casos en que el agua cruda a ser clarificada por cualquiera de los modelos de unidades de filtración tenga concentraciones elevadas de coliformes, el agua filtrada deberá ser desinfectada antes de su consumo directo, como una medida de seguridad.