

Filtración en Múltiples Etapas

Documento de Revisión Técnica 15
Por Luís Darío Sánchez, Arlex Sánchez, Gerardo Galvis y
Jorge Latorre

Thematic Overview Papers

Filtración en Múltiples Etapas

Documento de Revisión Técnica 15

Por Luís Darío Sánchez, Arlex Sánchez, Gerardo Galvis y
Jorge Latorre

Revisado por Jan Teun Visscher

Los TOPs son una serie de publicaciones basadas en la Web. Sin embargo, sentimos que las personas que no tienen acceso al Internet también deben beneficiarse de los TOPs. Por esa razón también están disponibles en formato impreso.

Este TOP está disponible como archivo PDF en el sitio del IRC. Se puede observar un resumen del mismo a través de la red, el cual le proporcionará una idea general acerca de su temática.

Editado por: Peter McIntyre

Fotografías: Todas las fotografías en este documento son de CINARA, Colombia

Copyright © IRC (Centro Internacional de Agua y Saneamiento) (2006)

Traducción española por CINARA (2007)

ISBN: 978-90-6687-061-1

El IRC posee los derechos de este documento bajo el protocolo dos de la Convención Universal de derechos de autor. Sin embargo, se autoriza la reproducción parcial o total de este material, para fines educativos, científicos o aquellos relacionados con el desarrollo social, exceptuando su utilización comercial, siempre y cuando se haga referencia expresa de la fuente y se notifique por escrito al IRC, P.O. Box 2869, 2601 CW [Delft, Holanda](http://Delft,Holanda), Tel. +31(0)15 2192939, Fax +31 (0) 15 2190955, e-mail: publications@irc.nl

Tabla de Contenido

Documentos temáticos (TOPs): Una forma efectiva de potenciar tu conocimiento.	4
1. Introducción	7
2. La Tecnología	10
2.1 La Tecnología de la Filtración Lenta en Arena	11
2.2 Criterios de Diseño	13
2.3 Opciones de Pre-tratamiento	15
2.4 Materiales de Construcción	18
2.5 El Proceso de Diseño	20
3. El proceso y sus limitaciones	22
3.1 Procesos	22
3.2 Limitaciones	25
4. Costos y administración	28
4.1 Inversión inicial de capital	28
4.2 Costos de operación, mantenimiento y administración	31
5. Experiencia e investigación	33
5.1 Estudios Preliminares con Unidades Piloto de FiME	34
6. Desarrollo y perspectivas de la FiME para alcanzar las Metas de Desarrollo del Milenio	39
7. Estudios de Caso	41
7.1 Intercambio de información entre comunidades facilita recuperar la planta FiME en La Tulia - Bolívar	41
7.2 Prefiltración en gravas más oxidación para la remoción de hierro y manganeso	41
7.3 Superando las variaciones de turbiedad combinando galería filtrante con filtros lentos de arena en Mizque-Bolivia.	43
7.4 La Filtración en Múltiples Etapas (FiME) para prevenir el crecimiento de biopelícula en las redes de distribución	43
7.5 Desempeño de una planta de filtración en múltiples etapas después de dos años en Ruanda	45
7.6 Desempeño de la filtración en múltiples etapas utilizando diferentes medios de filtración en Kenya	46
8. Recursos TOP	47
8.1 Publicaciones	47
8.2 Sitios Web	52
8.3 Cursos de capacitación	55
8.4 Herramientas	57
8.5 Contactos	59
8.6 Eventos	60
Referencias	64
Acerca del IRC	67
Acerca de CINARA	68

Documentos temáticos (TOPs): Una forma efectiva de potenciar tu conocimiento.

Necesitas actualizarte rápidamente en una temática significativa en el campo de saneamiento, manejo de aguas y salud?

Prueba con un documento temático del IRC (TOP)

Los TOPs son una iniciativa en Internet del IRC, la cual pretende sintetizar algunas de las experiencias más recientes, las opiniones de los expertos y las tendencias fundamentales en este campo, con vínculos con la mayoría de publicaciones informativas, sitios web y revistas de investigación. Cada TOP contiene suficiente información para brindar los fundamentos en un tema en particular, y un acceso directo a un cubrimiento más detallado a través de los datos específicos de los centros o individuos que pueden brindar asesoría. Los contenidos son revisados por reconocidos expertos y actualizados continuamente con nuevos casos de estudios, hallazgos, etc, TOPs es una valiosa fuente de información y conocimiento en las áreas de agua, saneamiento y salud.

Contenido de cada TOP

Cada TOP consiste de:

- Una perspectiva general con la información más actualizada
- Casos de estudio con las mejores prácticas, si aplica
- Recursos del TOP:
 - Vínculos a libros, documentos y artículos
 - Vínculos a sitios web con información adicional
 - Datos de contacto de centros de recursos, redes de información e individuos
 - Expertos
 - La oportunidad de retroalimentar tus propias experiencias o efectuar preguntas vía Internet

El sitio web contiene una versión en PDF de la edición más actualizada del TOP y un resumen del mismo, los usuarios pueden bajar e imprimir esta información para compartirla con sus colegas.

Los TOPs pretenden ser una compilación que cumpla con los requerimientos de los profesionales en agua, saneamiento y salud en el Sur y el Norte, que trabajen con gobiernos nacionales y locales, ONG's, organizaciones comunitarias, centros de recursos, empresas del sector privado, agencias de la ONU y agencias multilaterales o binacionales de apoyo.

Acerca de lo qué es este TOP

La Filtración en Múltiples Etapas (FiME) es una solución integrada para mejorar el abastecimiento de agua en comunidades rurales, y en pequeños o medianos municipios. Aunque ha sido implementado en algunas zonas y probado en otras, la FiME como paquete tecnológico aún es desconocida en muchos países. FiME fue desarrollado en 1990 por investigadores en Colombia, donde está siendo aplicado a gran escala, y desde donde se intenta ampliar su aplicación y promover su desarrollo, particularmente en América Latina. Las Metas de Desarrollo del Milenio requieren mejorar la intervención en el sector de agua y saneamiento. Este reto incluye la necesidad de mejorar la calidad del agua en muchos países. FiME es una de las opciones más interesantes y quizá la única solución para muchos sistemas de abastecimiento de agua en las comunidades. El reto incluye la necesidad de mejorar los sistemas existentes, en particular los numerosos sistemas de filtración lenta en arena (FLA) alrededor del mundo, que no funcionan correctamente debido a la ausencia de unidades de pre-tratamiento. Es necesario que estos sistemas sean transformados en FiME para que alcancen un mejor desempeño.

Este Documento Temático (TOP) provee bases para los profesionales del sector en el tema de la tecnología FiME, el cual les permitirá aprender más acerca de ella. Este texto respalda a la comunidad que trabaja en agua y saneamiento mediante información de soporte y con los criterios de diseño que se utilizan, adicionalmente con casos de estudio, datos de contacto y referencias para facilitar su implementación alrededor del mundo. Se examina por qué la FiME es una opción tecnológica viable, y se explican sus mayores ventajas y desventajas. Este TOP provee información, analiza y explica los retos y tendencias fundamentales en FiME, asimismo posee vínculos con las fuentes de información y con los especialistas en FiME.

Contenido

Este Documento Temático (TOP) sobre Filtración en Múltiples Etapas está dividido en nueve secciones. Los lectores pueden leer todo el documento, o enfocarse en los temas de interés:

- | | |
|--|---|
| 1. Introducción | Por qué y cómo se desarrolló FiME, y sus beneficios potenciales |
| 2. La tecnología | Un perfil de la tecnología y sus características |
| 3. El proceso y sus limitaciones | Explica el proceso y sus limitantes |
| 4. Costos y administración | Expone el tema de los costos |
| 5. Experiencias e investigación | Ilustra las experiencias de investigación |
| 6. Desarrollo del FiME y las perspectivas para contribuir en las MDG's | El papel que cumple el acceso a agua segura en la salud pública |
| 7. Casos de estudio | Perfila algunos casos de estudio |
| 8. Recursos de TOP | Provee fuentes de información, sitios Web y contactos |
| 9. Referencias | |

Abreviaturas

Las siguientes abreviaturas son usadas en este TOP:

COB	Carbón orgánico biodegradable
FG	Filtración Gruesa
UFC	Unidades formadoras de colonias
FGDi	Filtro Grueso dinámico
FiME	Filtración en múltiples etapas
ONG	Organización no gubernamental
MON	Materia orgánica natural
UNT	Unidades nefelométricas de turbiedad
O&M	Operación y mantenimiento
UPC	Unidades de platino cobalto
FiR	Filtración rápida en arena
FLA	Filtración lenta en arena

1. Introducción

Los riesgos sanitarios asociados a las aguas superficiales se han agravado en muchos países en desarrollo, debido a la pobre protección de estos recursos y al inadecuado manejo de los residuos sólidos y líquidos (PAHO, 1997). Por ejemplo, en Colombia solamente 206 (menos del 20%) de los municipios cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales, y esta es sólo una pequeña muestra de las falencias en este tema. Las fuentes superficiales pueden sufrir cambios impredecibles y erráticos en su calidad debido a la escorrentía durante los períodos de lluvia. Este es un problema crítico para los operadores de los sistemas de abastecimiento de agua, en particular, en algunos países andinos y del caribe donde el 80% de estos sistemas dependen de las fuentes superficiales (Foster et al, 1987; Ministerio de Desarrollo de Colombia, 1998). Las fuentes superficiales pueden acarrear riesgos sanitarios considerables, por lo que requieren un adecuado tratamiento para remover o reducir de ellas los organismos causantes de enfermedades. Este riesgo es menor para las fuentes protegidas en las zonas montañosas, que para los ríos en zonas planas cercanas a las áreas densamente pobladas.

La Filtración Lenta en Arena (FLA) es la tecnología de tratamiento de agua más antigua usada en los sistemas de abastecimiento, empleada exitosamente en el norte de Europa y Norteamérica con el fin de tratar aguas superficiales con niveles relativamente bajos de contaminación (Rachwal et al, 1988; Sims y Slezak, 1991). La experiencia con FLA no ha sido exitosa en países de América Latina como Brasil (Hespanhol, 1969; Di Bernardo, et al., 1999), Perú (Canepa, 1982; Pardón, 1989), y Colombia, donde los elevados niveles de turbiedad en los ríos causaron taponamiento prematuros de los filtros, haciéndose necesario un frecuente mantenimiento y en última instancia el abandono de muchos de estos sistemas.

Esta deficiencia contribuyó a aumentar el interés a nivel mundial en la Filtración Rápida en Arena (FiR) de agua químicamente coagulada. La FiR ha evolucionado rápidamente durante las décadas pasadas y los ingenieros latinoamericanos han hecho importantes contribuciones en la modernización de sus procesos, en la simplificación de los equipos, haciendo menos dispendiosas la operación y el mantenimiento (O&M), y reduciendo la inversión y los costos operacionales (Arboleda, 1993; Di Bernardo, 1993). Sin embargo, la operación y mantenimiento sigue siendo exigente; adicionalmente las compras, el transporte, el almacenamiento y la correcta utilización de los componentes químicos es compleja y costosa sobre todo en zonas rurales y pequeños municipios. Esta tecnología tiene un mejor desempeño en grandes plantas de tratamiento de agua, dado que poseen mejores condiciones técnicas y administrativas. Aún las más modernas plantas compactas de filtración rápida adolecen de los mismos problemas de O&M.

La complejidad técnica en estos sistemas y la limitada capacidad (en insumos, recursos y personal) de los pequeños sistemas de tratamiento de aguas es una preocupación global.

Por ejemplo, la enmienda de 1996 de la ley de Agua segura en los Estados Unidos, reconoció la complejidad de diseñar sistemas de abastecimiento de agua para comunidades de menos de 10.000 personas. La agencia de protección ambiental de Estados Unidos establece que la FiR debe ser usada sólo por sistemas que cuenten con un operador capacitado de manera permanente, y que el sistema FLA debe implementarse en sistemas pequeños y medianos que utilicen una fuente de agua con calidad aceptable (EPA, 1998). Estas observaciones están acordes con los hallazgos encontrados en un proyecto de investigación y demostración implementado por el IRC y sus socios. El proyecto escogió la FLA porque la O&M es fácil, no requiere químicos, y es muy efectiva. Este proyecto fue particularmente efectivo en la India, donde se contribuyó a la construcción de sistemas con FLA en cuatro estados. Solamente en Andhra Pradesh más de 2000 sistemas de FLA están operando hoy en este lugar. Sin embargo, muchos de estos sistemas no tienen un buen desempeño debido a su operación intermitente y a los problemas por la elevada turbiedad del agua afluyente, (Visscher, 2006).

La FLA tiene dos limitaciones importantes. En primer lugar, la pobre calidad del agua de la fuente puede exceder la capacidad de tratamiento, alta turbiedad del agua ocasiona taponamientos prematuros de los filtros y altos niveles de color exceden la capacidad de remoción- (el color en el agua es un indicador de componentes orgánicos, los cuales pueden reaccionar a través de los procesos de cloración para producir subproductos de la desinfección que pueden ser perjudiciales para la salud. La excesiva coloración del agua la puede hacer inaceptable para las comunidades)-. En segunda instancia, la naturaleza biológica del tratamiento con FLA requiere de un caudal continuo de agua que asegure el suministro de oxígeno y nutrientes. El tratamiento es afectado negativamente por las bajas temperaturas, la baja concentración de nutrientes y los bajos niveles de oxígeno disuelto.

Para reducir los problemas asociados con estas limitaciones, los investigadores iniciaron el desarrollo de sistemas de pre-tratamiento para mejorar la calidad del agua antes del proceso con FLA. La búsqueda de sistemas de bajo costo con una O&M sencilla condujo al desarrollo de la Filtración en Múltiples Etapas (FiME), una combinación de FLA y de filtros de grava. El desarrollo de la FiME comenzó en América Latina en los 80's con prometedores resultados (Pardón, 1989; Galvis et al, 1989). En 1986, un sistema experimental con unidades a escala piloto fue construido por el instituto CINARA de la Universidad del Valle en Cali, Colombia, como parte de un proyecto de investigación y desarrollo, apoyado por el IRC, con el fin de establecer el potencial de la filtración en grava para superar las limitaciones de la FLA. Estas unidades a escala piloto fueron aproximadamente diez veces más grandes que las unidades a escala de laboratorio.

Los resultados prometedores que arrojó este estudio llevaron a iniciar el desarrollo de una investigación más profunda en ese sentido, coordinada por el Instituto CINARA y el IRC, apoyada por el gobierno de Holanda y algunas instituciones en Colombia. El estudio fue adelantado en predios de la Planta de Agua Potable de Cali en Puerto Mallarino, EMCALI, utilizando diferentes combinaciones de filtros en grava y FLA, haciendo uso del agua de un río Cauca ubicado en una zona plana y que se caracteriza por tener altos niveles de

contaminación microbiológica y variaciones en su calidad fisicoquímica. Al mismo tiempo, se desarrolló un trabajo con sistemas FiME a escala real, construidos en la región del Valle del Cauca. Los buenos resultados atrajeron el apoyo financiero de otras organizaciones internacionales que ayudaron a fortalecer el desarrollo de esta tecnología y permitieron intensificar el contacto con investigadores en otras partes del mundo, quienes también hicieron aportes valiosos en el proceso. Los reportes respecto a este trabajo pueden ser encontrados en las referencias al final del documento destacándose los trabajos de: Bellamy, 1985, Lloyd and Helmer, 1991, Okun, 1991, Heldrich y Craun, 1991, Logsdon, 1991, Pardon, 1989, Smet y Visscher, 1989, Di Bernardo, 1994, Collins y Graham, 1994, y Galvis et al, 1989, 1992, 1996, 1999.

CINARA y el IRC iniciaron el programa TRANSCOL, el cual fue una iniciativa de carácter nacional para transferir la tecnología FiME a ocho regiones de Colombia a través de “proyectos de aprendizaje”. Este programa contribuyó a ampliar la aplicación de la tecnología FiME, pero al mismo tiempo creó la conciencia de que no es suficiente considerar sólo los desafíos técnicos. Para que un sistema de abastecimiento de agua funcione adecuadamente se requiere de un “contexto de trabajo”, como la capacitación, el respaldo institucional, la legislación, etc., que son factores que sustentan la aplicación de la tecnología. Las interacciones entre la comunidad y su sistema de abastecimiento de agua son complejas y los problemas que se presentan con el suministro de agua no es posible resolverlos a través de enfoques meramente técnicos. Para tener éxito también se requiere una perspectiva “humanística”, un enfoque que tenga en cuenta las dimensiones sociales, organizacionales y ecológicas de los sistemas FiME (Visscher, 2006). Los resultados positivos con el proceso de transferencia de tecnología en Colombia llevaron a ampliar la experiencia de la tecnología FiME en muchos otros países, entre ellos México, Ecuador, Bolivia, Perú, Brasil, Nicaragua, Estados Unidos, Honduras y algunos países Africanos.

2. La Tecnología

La Filtración en Múltiples Etapas (FiME) es una combinación de Filtración Gruesa en Grava (FG) y de Filtración Lenta en Arena (FLA). Esta combinación hace posible el tratamiento de agua con niveles de contaminación muy superiores a los que se pueden tratar utilizando sólo la FLA. La FiME conserva las ventajas de la FLA como una tecnología robusta y confiable, que puede ser mantenida por operadores con bajos niveles de escolaridad. Es mucho más sostenible que el tratamiento químico del agua para las comunidades rurales, pequeños y medianos municipios de los países en vía desarrollo, así como para las áreas más remotas de los países industrializados. Otros procesos de tratamiento como la sedimentación, las trampas de arena y rejillas pueden preceder a los sistemas FiME. Donde sea posible, se debe incluir la desinfección final como una barrera de seguridad después de la FiME.

La Figura 1, muestra el esquema de un sistema FiME con tres componentes, Filtro Grueso Dinámico (FGDi), Filtración Gruesa (FG) y FLA. La ilustración también muestra la desinfección final como una barrera de seguridad posterior a la FiME. Esta tecnología puede ser usada tanto con una etapa de filtración gruesa (FG), por ejemplo FGDi, o como lo muestra la figura 1 con dos etapas de filtración gruesa, por ejemplo FGDi y Filtración Gruesa Ascendente en Capas, FGAC, precediendo a la FLA. La FiME no renuncia a las ventajas de un sistema FLA en términos de la facilidad de operación y mantenimiento y el resultado final es agua de buena calidad. Esta es una opción aplicable a muchas comunidades rurales y en pequeños municipios, donde el tratamiento con productos químicos tiene un potencial limitado.

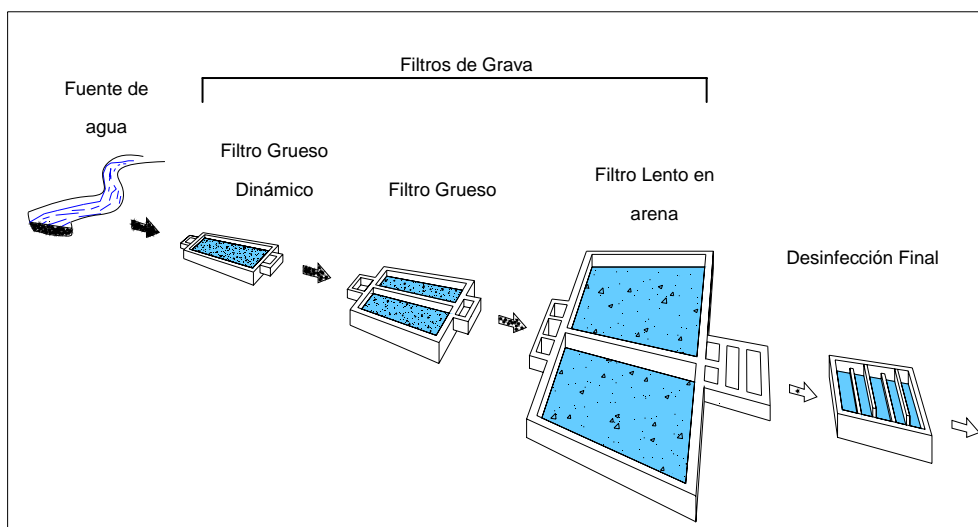


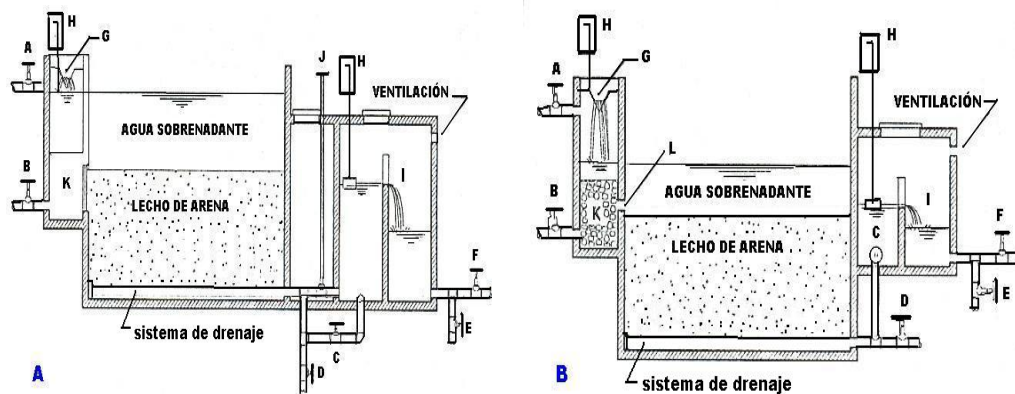
Figura 1. Esquema general de una planta de tratamiento de agua por Filtración en Múltiples Etapas (Galvis, G., 2000)

Existen varias opciones de posibles combinaciones de filtración en grava que se pueden emplear en las etapas de tratamiento de un sistema FiME. Es necesario que las

combinaciones estén apropiadamente especificadas para cumplir con los requerimientos respecto a la calidad del agua y los objetivos de tratamiento. Sin embargo, se hace énfasis en que seleccionar y proteger la mejor fuente abastecedora de agua es mucho más económico y efectivo que permitir su deterioro para después depender de complejas y costosas tecnologías de tratamiento de agua.

2.1 La Tecnología de la Filtración Lenta en Arena

Una unidad de FLA está conformada por una estructura que contiene un lecho filtrante, una capa de agua sobrenadante, un sistema de drenaje y el control del flujo (Figura 2). El tratamiento de agua con FLA es el resultado de una combinación de mecanismos biológicos y físico-químicos que interactúan de una forma compleja. La materia orgánica e inorgánica ingresa a las unidades de FLA junto con el flujo de agua sin tratar o pre-tratada, la cual pasa a través del medio filtrante por gravedad, mediante la presión que ejerce el agua sobrenadante que se encuentra encima del lecho de arena. La fotosíntesis favorece el crecimiento de algas que proporciona materia orgánica adicional, que se añade a la contaminación del agua. Esa fuente de nutrientes ayuda al crecimiento de bacterias y otros microorganismos que ayudan a que el material soluble sea removido del agua en el lecho de arena. El lecho filtrante actúa como una unidad de limpieza de materia orgánica y organismos aeróbicos, como el zooplancton y el resto de la biomasa, los cuales respiran continuamente, demandando el oxígeno proveniente del agua, de ahí la necesidad de un flujo continuo en el sistema.



- A: Válvula de entrada, para regular la tasa de filtración
- B: Válvula de drenaje de la capa sobrenadante de agua
- C: Válvula para llenar la unidad con agua filtrada
- D: Válvula para el lavado del lecho de filtrante
- E: Válvula de desagüe del filtro

- F: Válvula para el tanque de contacto o de almacenamiento de agua
- G: Cámara de entrada
- H: Regla de aforo
- I: Cámara de salida
- J: Válvula de control de salida

Figura 2. Componentes básicos de las unidades de FLA con control: A) en la salida B) en la entrada.

El caudal en las unidades de FLA tiene que ser controlado para mantener una tasa de filtración adecuada, de manera que se asegure que los procesos biológicos reciban el oxígeno y los nutrientes necesarios. La tasa de filtración puede ser controlada a la entrada o a la salida del filtro. Un método usual en FLA es mantener el nivel de agua sobrenadante al máximo deseado sobre el lecho filtrante usando una válvula de control. La diferencia entre el nivel del agua sobrenadante dentro del filtro y el nivel del agua en la cámara de salida, suministra la fuerza que conduce el agua a través del filtro. En filtros con control a la salida, inicialmente, cuando el lecho de arena está limpio, el agua podría fluir a una tasa de filtración demasiado alta. Para evitar esto, la válvula de salida (J) está casi cerrada con el fin de crear resistencia al flujo (pérdida de carga) que asegure la tasa de filtración apropiada. Como la superficie del filtro gradualmente se colmata por las impurezas hasta desarrollar una capa biológica llamada, Schmutzdecke, entonces la resistencia al flujo del agua aumenta, creándose una pérdida de carga adicional. Para compensar esa la pérdida de energía y el flujo efectivo de agua a través del medio filtrante, la válvula de salida gradualmente debe ser abierta para mantener el caudal del filtro a la tasa deseada.

El control a la entrada de los filtros, es un método usado actualmente en América Latina, donde el caudal se mantiene constante. El incremento gradual de la pérdida de carga en la superficie del filtro es compensado mediante un incremento en la altura del agua sobrenadante, por lo cual se incrementa la presión del agua para mantener la tasa de flujo a través del filtro. Investigaciones comparativas entre los dos métodos (control a la entrada y control a la salida) han mostrado un desempeño similar en términos de la calidad del agua efluente, la pérdida de carga en el lecho filtrante y en la duración de las carreras de filtración para las unidades de FLA funcionando en paralelo, con velocidades de filtración entre 0.13 – 0.5 m/h.

Tanto en los sistemas controlados a la entrada y a la salida, el proceso de tratamiento comienza en la capa del agua sobrenadante donde las partículas más pesadas se pueden sedimentar y donde tiene lugar la actividad biológica. El agua sobrenadante también proporciona capacidad de amortiguación.

Dada la importancia de la continuidad de los procesos biológicos, un sistema FLA debe incluir al menos dos unidades, permitiendo el abastecimiento continuo de agua y cuando uno de los filtros este fuera de servicio, el otro debe seguir operando y puede incrementarse la tasa de filtración en la otra unidad que esta en operación.

El sistema de drenaje consiste de una tubería principal con conductos laterales, que pueden construirse a partir de tuberías perforadas, ladrillos o losas perforadas, que se cubre con una capa de grava y una de arena. El uso de tuberías corrugadas ha sido promovido por CINARA en Colombia y ha permitido una reducción en la altura del filtro. Este sistema requiere:

- Soportar el material filtrante e impedir su arrastre
- Asegurar la recolección uniforme del agua filtrada en toda el área de filtración
- Permitir el llenado de los filtros y eliminar burbujas de aire.

La capa de agua sobrenadante. Proporciona la carga hidráulica necesaria para permitir su paso a través del lecho de arena. En un lecho limpio, la pérdida de carga inicial suele estar por debajo de 0.1 m, valor que se incrementa gradualmente hasta que se alcanza el nivel máximo. Las investigaciones recientes reportan alturas máximas de agua sobrenadante en un rango entre 0.6 a 1.2 m en los sistemas construidos recientemente.

El lecho filtrante Consiste básicamente de arena relativamente fina que posee las siguientes características: diámetro efectivo (d_{10}) de 0.15 a 0.3 mm y un coeficiente de uniformidad, $C_u = d_{60}/d_{10}$ menor de 5. Es necesario usar arena fina para asegurar la remoción de impurezas del agua en la parte superior del lecho de arena y posteriormente se pueda remover la capa superficial por raspado. La profundidad mínima del lecho de arena debe ser de 0.4 a 0.5 m y la arena debe estar limpia y libre de arcilla, tierra y material orgánico, lo cual a menudo hace necesario que deba lavarse antes de ser instalada dentro de la unidad de filtración.

Operación y mantenimiento Dada la naturaleza biológica del proceso, las unidades de FLA deben ser operadas continuamente. La tasa de filtración puede reducirse, pero se debe evitar la operación intermitente puesto que la pérdida de oxígeno y de nutrientes compromete la actividad biológica. Después de varias semanas o meses de funcionamiento, la unidad de FLA se colmata gradualmente como resultado de la acumulación de material orgánico e inorgánico, incluyendo la biomasa que se forma en la parte superior del lecho filtrante. El mayor incremento en la pérdida de carga ocurre en la capa superior. Mediante el raspado de una capa entre 1 y 3 cm., la conductividad hidráulica se restaura al mismo nivel de eficiencia que tenía al comienzo del uso del filtro. La arena que es raspada deberá ser lavada y almacenada. Después de varios raspados, cuando el medio filtrante alcance una profundidad mínima de (0.4 – 0.5 m), la arena que ha sido lavada y almacenada de los diferentes raspados, más la arena nueva que sea necesaria, debe ser ubicada en el filtro, ubicándola debajo de la capa de arena existente. Este proceso es conocido como re-arenado y usualmente se logra extrayendo arena de la parte media (almacenándola temporalmente encima de la otra mitad del lecho), luego se pone la arena lavada que se esta almacenada de raspados anteriores junto con arena nueva en el espacio donde fue extraída originalmente. Después, la arena almacenada temporalmente es ubicada encima de la arena nueva. Finalmente, el proceso es repetido para la otra mitad del lecho y la superficie es nivelada para la puesta en operación.

2.2 Criterios de Diseño

Existen diferencias en los sistemas FLA alrededor del mundo. En parte, esto se refleja por el progreso en la comprensión de la tecnología, lo que ha resultado en una considerable reducción de la altura total del filtro. Es posible hallar filtros antiguos de más de 3 m, mientras que los sistemas recientemente construidos en Colombia no superan los 2 m. La Tabla 1 muestra los criterios de diseño reportados por varios autores. Las diferencias entre estos criterios particularmente se hallan en la tasa de filtración y en el diámetro de la arena. La utilización de arena gruesa tiene una limitante, dado que las impurezas pueden

penetrar en lo profundo del lecho, lo cual podría requerir la limpieza de un mayor espesor de la capa y causar una reducción en la eficiencia del tratamiento. La tasa de filtración está influenciada por la calidad del agua y por el tipo de pre-tratamiento empleado. En Europa, los sistemas FLA son usados en varios países, tratando agua muy limpia y por lo tanto emplean tasas de filtración, superiores a 0.7m/h. Para la aplicación del FLA en sistemas de abastecimiento comunitario en los países en desarrollo, el criterio de FLA con pretratamientos sugerido por Galvis et al (1998) parece ser el más apropiado. El autor ha demostrado que se pueden alcanzar tasas de filtración más altas. Además facilita la limpieza porque permite que otras unidades estén operando temporalmente a una tasa de filtración mayor, cuando una de las unidades este fuera de operación por limpieza.

El "periodo de diseño" en esta tabla es el periodo de tiempo en el cual el sistema esta operando para cumplir con las necesidades de la población, bajo unas condiciones de crecimiento demográfico asumidas. Un periodo corto de diseño tiene la ventaja de reducir el riesgo de construir filtros que son innecesariamente grandes, debido ha predicciones inexactas.

Tabla 1. Comparación de los criterios de diseño para filtración lenta en arena por varios autores

Criterios de diseño	Ten States Standards (1987)	Huisman y Wood (1974)	Visscher, et al. (1987)	Galvis, et al (1998)
Período de diseño (años)	n.e	n.e	10 -15	8-12
Periodo de operación(h/d)	24	24	24	24
Tasa de filtración (m/h)	0.08 - 0.24	0.1 - 0.4	0.1 - 0.2	0.1 - 0.3
Lecho de arena: altura inicial (m)	0.8	1.2	0.9	0.8
altura mínima (m)	n.e	0.7	0.5	0.5
Tamaño efectivo (mm)	0.30 - 0.45	0.15 - 0.35	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30
Coefficiente de uniformidad:	n.e	< 3	<5	<4
Aceptable	≤ 2.5	< 2	<3	<3
Preferible				
Altura lecho de soporte con drenaje (m)	0.4 - 0.6	n.e	0.3 - 0.5	0.25
Altura máxima del agua sobrenadante (m)	0.9	1 - 1.5	1	0.75
Borde Libre (m)	n.e	0.2 - 0.3	0.1	0.1
Area superficial máxima (m ²)	n.e	n.e	< 200	< 100

n.e.: no establecida

2.3 Opciones de Pre-tratamiento

Varias alternativas de pre-tratamiento pueden ser usadas para mejorar la calidad del agua antes de llegar a las unidades de FLA.. Los filtros gruesos (FG), los cuales usan grava como material filtrante, son descritos en las siguientes secciones y se ilustran esquemáticamente en la Figura 3.

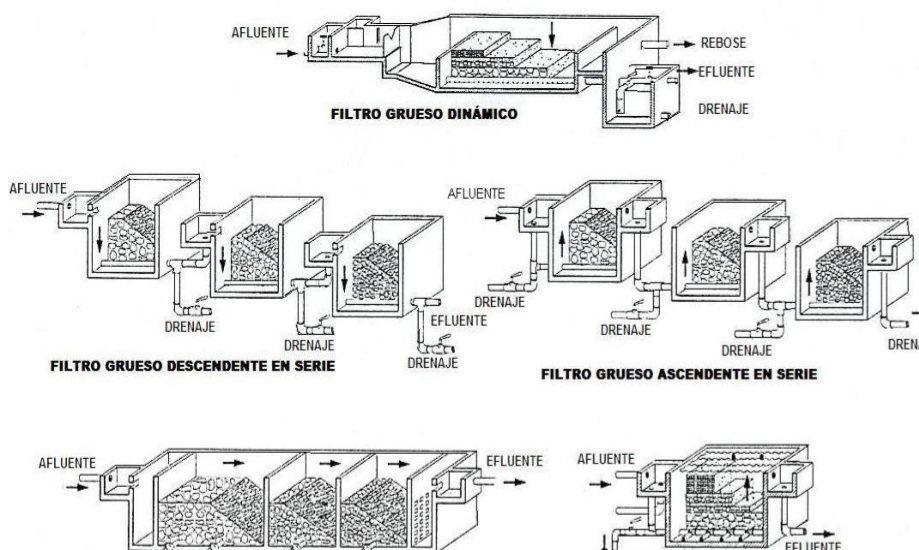


Figura 3. Alternativas de filtración gruesa (Basado en Galvis y Visscher, 1987)

Las alternativas de los filtros gruesos han sido clasificadas de acuerdo al propósito principal de su aplicación y a la dirección del flujo. Se incluyen los filtros gruesos dinámicos, los de flujo ascendente, descendente y de flujo horizontal, respectivamente. Los filtros gruesos han sido diseñados para producir un efluente con turbiedad menor de 10 a 20 UNT, o con menos de 5 mg/l de sólidos suspendidos para facilitar el proceso de tratamiento en las unidades de FLA e incrementar el tiempo de operación de esas unidades de tratamiento.

En este TOP, se presentan dos opciones de pretratamientos que actualmente se usan en los sistemas FiME en Colombia. Para más detalles, leer textos adicionales que han sido publicados en los documentos técnicos del IRC, 34 (Filtración en múltiples etapas: tecnología innovadora para el tratamiento de agua - <http://www.irc.nl/page/1894>) 40 (Suministro de agua a pequeñas comunidades - <http://www.irc.nl/page/1917>) y 46 (Facilitando el suministro de agua comunitario - <http://www.irc.nl/page/29210>).

2.3.1 Filtro Grueso Dinámico (FGDi)

Un FGDi consiste de dos o más unidades en paralelo compuestas de tres capas de grava de diferente tamaño, desde gruesa en la parte inferior hasta fina en la superficie (Figura 4). El agua (Q_f) se filtra a través del lecho de grava desde la superficie hasta el fondo, alcanzando el sistema de drenaje, desde el cual fluye a la siguiente unidad de tratamiento.

Debido a que la grava usada es relativamente gruesa, la pérdida de carga sobre el lecho de filtración es muy pequeña (alrededor de 0.01m). En la superficie opuesta a la zona de entrada hay un vertedero de salida de cresta delgada con una altura entre 0.03 y 0.05 m sobre el lecho de grava (Guzmán, 1997). El filtro opera inicialmente a tasa constante. La pérdida de carga se incrementa gradualmente para compensar la resistencia de flujo en el lecho de grava hasta la altura del vertedero de salida. Cuando el agua sobrenadante alcanza ese nivel de salida del vertedero, entonces se hace necesario limpiar el filtro. El concepto de FGD_i fue desarrollado por CINARA en Colombia a través de un proyecto apoyado por el IRC. El FGD_i contribuye al mejoramiento de la calidad del agua, y protege a las unidades de tratamiento que la precede de cargas excesivas de sólidos suspendidos. Se ha reportado una reducción del 23 al 77% en sólidos suspendidos en las unidades de FGD_i, procesando agua cruda con sólidos suspendidos entre 7.7 – 928 mg/l y operando a velocidades de filtración entre 1 y 9 m/h. Si se desea proteger a la planta de tratamiento de picos de turbiedad o sólidos suspendidos, entonces, mayores tasas de filtración pueden ser aplicadas, como se muestra en la Tabla 2. (Galvis y Fernández, 1991).

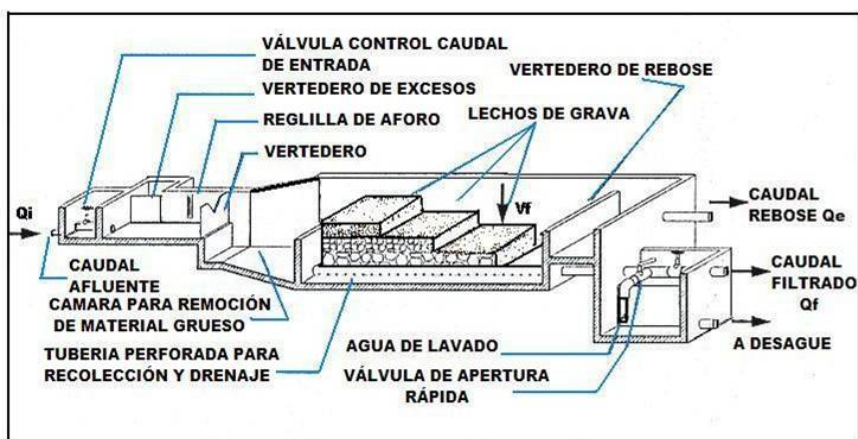


Figura 4. Esquema Isométrico de un filtro grueso dinámico (FGDi).

Tabla 2. Lineamientos para el diseño de filtros gruesos dinámicos (Galvis y Fernández, 1991; Wegelin, 1996)

Parámetro	Objetivos principales del tratamiento	
	Mejorar la calidad del agua	Reducir el impacto de los sólidos suspendidos
Velocidad de filtración (m/h)	0.5-2.0	>5
Capa del lecho filtrante:		
Superior (grosor en m y tamaño en mm)	0.20, y 3-5	0.20-0.30, y 1.5-3
Media (grosor en m y tamaño en mm)	0.20, y 5-15	0.10, y 3-5
Inferior (grosor en m y tamaño en mm)	0.20, y 15-25	0.10, y 5-15
Velocidad de operación superficial (m/s)	Nula o entre 0.1-0.3	Nula o <0.05
Velocidad de lavado superficial (m/h)	0.2-0.4	0.2-0.3

Normalmente, la altura del filtro está alrededor de 0.6 a 0.8m. La cámara de filtración está construida en mampostería o concreto reforzado. La estructura de salida debe garantizar un flujo de agua y un caudal de lavado durante la limpieza superficial de la unidad.

2.3.2 Filtración Gruesa de Flujo Ascendente (FGA)

En un Filtro grueso ascendente el agua pasa a través del lecho de grava de abajo hacia arriba. Durante este paso las impurezas son retenidas por el filtro. La filtración de flujo ascendente tiene la ventaja que las partículas más pesadas son removidas primero en el fondo del filtro. Cuando es tiempo de limpiar los filtros, las partículas pueden ser removidas abriendo una válvula de desagüe de apertura rápida, permitiendo que por acción de la gravedad se drene y se limpie el filtro. Existen dos tipos de filtros gruesos ascendentes. En la filtración gruesa de flujo ascendente en capas (FGAC), la grava está ubicada en capas con diferentes tamaños del grano, variando desde gruesos en el fondo a finos en la superficie (Tabla 3 y Figura 5). El otro tipo, llamado filtración gruesa de flujo ascendente en serie (FGAS), es usado para aguas más contaminadas. Este sistema consta de dos o tres unidades con diferentes tamaños de grava, en cada unidad se empacan tamaños de grava, comenzando con granos gruesos en la primera etapa hasta finos en la última.

Tabla 3. Criterios de Diseño para Filtros Gruesos de Flujo Ascendente (fuente: Galvis et al, 1989; Wolters et al, 1989; Galvis et al, 1993)

Parámetro	FGAC	FGAS1,2,3*
Tasa de filtración (m/h)	0.3-1.0	0.3-1.0
Tamaño principal de grava por compartimiento:	Un compartimiento 0.20-0.30 (25-19)	Tres compartimientos 0.60-1.0 (25-19)
Longitud (m) y (tamaño de la grava en mm)	0.20-0.30 (19-13) 0.20-0.30 (13-6)	0.60-1.0 (19-13) 0.60-1.0 (13-6)
Capa inferior de drenaje con grava	0.15-0.30 (25-35)	0.15-0.30 (25-35)
Altura del agua sobrenadante (m)	0.20	0.20
Cabeza estática disponible para limpieza hidráulica (m)	>2.5	>2.5
Velocidad inicial de drenaje para limpieza (m/h)	>10	>10
Área del lecho de filtración por unidad (m ²)	<20	<20

* 1, 2, o 3 Compartimientos en serie

La altura de un filtro grueso ascendente es usualmente inferior a 2 m. Aumentar la profundidad del lecho de filtración incrementa la capacidad de almacenamiento de sedimentos y la eficiencia de la remoción, pero podría hacer la limpieza hidráulica más compleja.

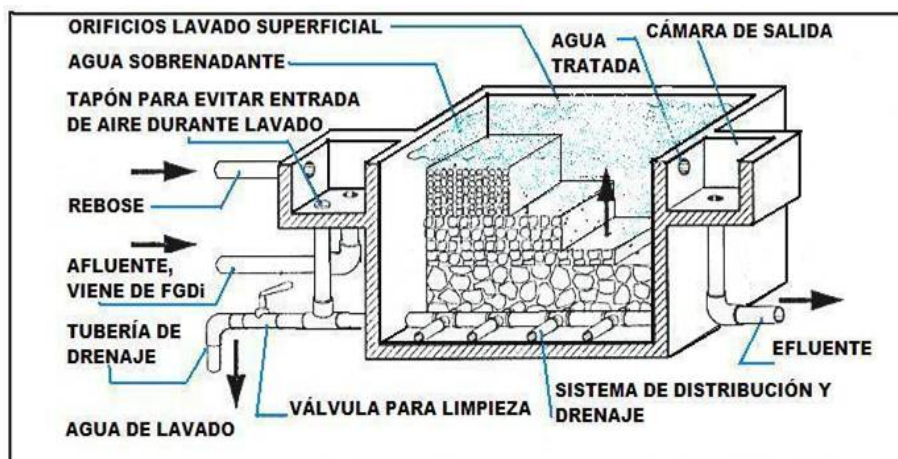


Figura 5. Esquema de un filtro grueso de flujo ascendente en capas (FGAC)

2.4 Materiales de Construcción

El uso de materiales locales debe ser considerado. Algunas veces los materiales más adecuados, especialmente la arena y la grava, son difíciles de obtener al interior, o cerca a las comunidades y tienen que ser obtenidos de otra fuente. Este factor debe ser considerado durante la planeación de este tipo de sistemas.

La calidad y las características de los materiales de construcción usados con la tecnología FIME pueden variar de un lugar a otro de acuerdo a las condiciones climáticas, y a la manera en la que han sido manipulados y limpiados. La calidad de la construcción depende de factores como la experiencia, el seguimiento, el control durante la construcción y la supervisión de la comunidad. Una buena construcción requiere no sólo de un buen diseño, sino también un manejo de los recursos económicos de forma transparente y una adecuada supervisión.

Los siguientes procesos y técnicas de construcción han sido identificados en Colombia y en otros países Latinoamericanos como efectivos para ser usados en el desarrollo de la tecnología FIME:



Concreto: de la combinación exacta de arena, grava, cemento y agua depende la resistencia requerida, la cual es establecida por los estándares locales o las normas existentes a nivel local o regional.

Ferrocemento: consiste en un mortero de arena cemento que se refuerza con varillas de acero o malla de gallinero. El refuerzo consta de una red de varillas verticales y horizontales de pequeño diámetro (4-5 mm) con una separación de 50 a 120 mm. El ferrocemento es apropiado para elementos estructurales curvos como filtros circulares, porque no ocurren momentos de flexión y el grado de deformación es pequeño.



Es preciso hacer un curado cuidadoso, sobre todo en clima caliente o seco, para asegurar la adherencia satisfactoria.



Mampostería: consiste en el uso del ladrillo con mortero para consolidar los muros de las unidades de filtración. El ladrillo y el mortero deben ser de buena calidad para obtener una estructura estanca. En filtros circulares enterrados con diámetros entre 5- 10m los muros deben tener un espesor entre 0,2- 0,3m y se debe verificar que no se tengan fugas.

En la mampostería los puntos clave a considerar son los siguientes:

- Las uniones verticales entre las unidades de mampostería no deben colocarse una encima de la otra.
- Los ladrillos no se deben dividir en pedazos más pequeños que la mitad del tamaño estándar de una unidad.
- Se deben usar los ladrillos bien cocidos en tal caso se prefieren las unidades que han estado cerca al fuego del horno por que son mas fuertes.
- Los ladrillos que se vayan a utilizar deben tener una absorción menor al 25%.
- Los morteros se deben preparar con una mezcla de una parte cemento por 2-3 partes de arena

También se puede emplear una combinación de mampostería y ferrocemento. Para tal condición se construye una pared de mampostería de 5-10 cm. que se emplea como molde exterior, en cuyo interior se coloca una capa de 2-3 cm. de ferrocemento. Esta estructura combina la ventaja que da la estanqueidad del ferrocemento con la mayor resistencia a impactos y fácil encofrado de la mampostería.

Material filtrante: El material filtrante empleado en la filtración en múltiples etapas consiste de arena y canto rodado que debe ser extraído de los bancos sobre los rios cercanos al lugar del proyecto. El material filtrante que se consigue localmente debe

garantizar los siguientes factores: a) el tamaño y distribución de los granos; b) el contenido de sedimentos y c) la solubilidad.

La arena debe mantener un diámetro efectivo entre 0,15-0,35 mm y un coeficiente de uniformidad menor a 5. La arena tiene que ser muy bien lavada y el contenido de lodo no debe sobre pasar el rango del 1%-2%. La solubilidad al ácido clorhídrico no debe exceder del 5% en 24 horas.

El canto rodado empleado en las unidades de filtración gruesa debe cumplir con los tamaños especificados en los planos de diseño, en lo concerniente espesores del lecho filtrante y el tamaño de los granos. El rango del tamaño especificado debe ser garantizado por el constructor y la selección de cada tamaño se puede realizar en la obra mediante la adquisición de mallas y tamizado del contenido para cada tamaño especificado. El tamaño especificado se debe garantizar con un contenido mayor del 60%, una vez realizados los ensayos granulométricos.

2.5 El Proceso de Diseño

La ubicación del proyecto es el elemento clave que afecta el monto a invertir y los costos operacionales. El sistema de tratamiento debe estar localizado cerca de la población para facilitar el trabajo del operador, y para asegurar una adecuada supervisión. La ubicación de la planta debe asegurar un desempeño hidráulico óptimo preferiblemente a gravedad desde la fuente para mantener el caudal requerido a través del sistema.

Durante el periodo de diseño el crecimiento de la población y la demanda per -cápita de agua, tiene un impacto considerable en el tamaño del sistema, y por lo tanto en el monto de la inversión y en los costos recurrentes. Existen economías de escala reducidas en la construcción de sistemas FiME. No es mucho más costoso construir una futura extensión que hacer un sistema grande en primera instancia. Un período de diseño relativamente corto puede ser usado, de 8-12 años, con la ventaja que las estimaciones incorrectas de crecimiento poblacional y de patrones de consumo tienen un impacto menor. Por ejemplo, un crecimiento estimado de la población del 2% implica que al transcurrir un periodo de diseño por ejemplo de ocho años, la población será 1.17 veces la población actual: con un periodo de diseño de 15 años será 1.34 veces la población actual. Si el crecimiento resulta ser inferior al proyectado, la capacidad construida en exceso significa una gran inversión que es desperdiciada. Es muy importante involucrar a la comunidad en las discusiones acerca de la capacidad, particularmente si existen niveles de consumo muy altos y las expectativas de la comunidad exceden la capacidad de las fuentes de agua o la de los recursos financieros disponibles.

Es importante que los diseñadores entiendan los siguientes principios para aplicar la tecnología FiME:

-
- El tratamiento en múltiples etapas implica la existencia de más de una etapa de tratamiento para remover los contaminantes y producir agua que sea apta para el consumo.
 - El tratamiento integrado tiene en cuenta el potencial y las limitaciones de cada barrera de tratamiento para remover los diferentes tipos de contaminantes.
 - La desinfección final es la barrera que protege la calidad bacteriológica del agua.

Para que la desinfección final sea efectiva, es necesario que las barreras previas remuevan virtualmente todo los microorganismos patógenos y las sustancias que puedan interferir con el proceso de desinfección.

El sistema de tratamiento debe garantizar agua que cumpla con los lineamientos de las guías de la OMS (2004). (http://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/gdwq0506.pdf).

El tratamiento debe ser apropiado al riesgo asociado de cada fuente de agua, estos riesgos pueden reducirse con la adecuada protección del área de captación y el mejoramiento de las condiciones socio-económicas de la comunidad. Es esencial considerar los aspectos técnicos y humanos (ej. La forma como la gente piensa y actúa), y las dimensiones organizacionales y ambientales. Esto es particularmente importante dada la naturaleza biológica de la tecnología FiME. Por eso es necesaria una aproximación a un “sistema blando” que tenga en cuenta los niveles de capacitación de la gente y sus actitudes y prácticas, para garantizar la sostenibilidad en el tiempo (Visscher 2006). Un diseño que garantice una operación correcta y unas condiciones de mantenimiento bien definidas es la mejor forma de alcanzar un funcionamiento apropiado, pero incluso con un diseño simple, se requiere respaldo y entrenamiento continuo. En los proyectos desarrollados por Cinara se prestó especial atención al aspecto estético de las estructuras, para asegurar que estuvieran integradas adecuadamente con el entorno natural. Esto tiene un impacto positivo en la comunidad e incrementa su interés en el tema. En varias comunidades en Colombia, se efectúan visitas anuales o con más frecuencia por parte de la comunidad y de la población escolar a las instalaciones del sistema de tratamiento. Esta relación entre la comunidad y el proyecto FiME ayuda a mantener el interés de la comunidad en el suministro de agua con calidad.

3. El proceso y sus limitaciones

3.1 Procesos

FiME es principalmente un proceso ecológico. Por esa razón, diseñadores, constructores, operadores, administradores y usuarios deben conocer las ventajas y limitaciones de FiME y entender la relación entre los sistemas de agua y el medio ambiente, especialmente las condiciones de la fuente de agua y si el sistema opera eficiente y efectivamente (Visscher, 2006). Por esa razón se deben entender las relaciones entre la concentración de nutrientes en el agua cruda, el rol de las poblaciones microbiológicas tales como algas, bacterias y protozoarios y condiciones ambientales como la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto y la radiación solar. Todos estos factores afectan el desempeño de los filtros, el proceso de maduración y la eficiencia del tratamiento.

Los principales mecanismos físicos que contribuyen a la remoción de partículas son (Yao et al, 1971; Amirtharajah, 1988):

- Tamizado
- Intercepción
- Transporte
- Mecanismos de adherencia y separación

Una breve descripción de estos procesos es tomada de una extensa descripción de las plantas de filtración en múltiples etapas (Galvis 1999):

Las partículas que son muy grandes al pasar a través de los poros de los medios filtrantes son removidas por cernido o tamizado. Este mecanismo, principalmente tiene lugar en la superficie del lecho de filtrante, donde la pérdida de carga esta concentrada y es independiente de la tasa de filtración. De acuerdo a Amirtharajah (1988), el tamaño del poro varía entre 0.07 y 0.1 dc (diámetro del grano). El uso de arenas con tamaños de 0.20 mm, posibilita que todas las partículas con diámetros mayores a 20 μm sean completamente removidas. Cuando se inicia el proceso de filtración la superficie del filtro va madurando y el tamaño de los poros se reduce, situación que posibilita la remoción de partículas más pequeñas. Haarhoff y Cleasby (1991) consideran que este desarrollo del filtro es el responsable del mejoramiento de su desempeño al inicio de cada carrera de filtración y se le denomina como el periodo de maduración del filtro.

El proceso biológico también es muy importante, dado que puede interceptar las bacterias así como otros contaminantes. Lloyd (1974; 1996) encontró una diferencia considerable en la eficiencia de la remoción de bacterias entre unidades piloto de FLA que fueron inoculadas con el protozoario *Peritrich Vorticella Convallaria*, un alimentador ciliar en suspensión e inoculado en las unidades de control. Se obtuvo una mejor eficiencia cuando la población de protozoarios creció y cuando se tuvo un mayor periodo tiempo entre las pruebas, mostrando claramente la maduración del proceso.

Para remover las partículas pequeñas que entran en los poros del filtro se requiere de mecanismos de transporte que los atrapen en la superficie de la arena (Figura 6) y del efecto de fuerzas que adhieran las partículas a los granos de arena. Como las partículas se acumulan dentro del lecho, las velocidades de flujo dentro de los poros aumentan y por lo tanto algunas de ellas podrían ser bloqueadas, dando como resultado una mayor fuerza de arrastre en las partículas depositadas. Eventualmente, si estas fuerzas son lo suficientemente grandes, las partículas depositadas pueden ser desprendidas y transportadas hacia el fondo del filtro o hacia el efluente. El desprendimiento de partículas también puede ocurrir por el efecto de arrastre que se origina en los depósitos con forma de domo que se asientan sobre los granos de arena (Ives y Clough, 1985, citado por Ginn et al, 1992). Los mecanismos de transporte son descritos como: difusión, sedimentación, intercepción, inercia y acción hidrodinámica. Los tres primeros predominan en la filtración de agua (Yao *et al*, 1971; Amirtharajah, 1988). El mecanismo de inercia es importante para la filtración con aire y es insignificante en la filtración de agua. El mecanismo de acción hidrodinámica se debe a la rotación de las partículas y al movimiento a través de las líneas de flujo y se relaciona principalmente con la forma de las partículas y su interacción con el agua. El tratamiento cuantitativo de estos mecanismos aún no se ha completado (Amirtharajah, 1988).

Difusión resulta del movimiento Browniano debido al bombardeo de las partículas por parte de las moléculas de agua. Este mecanismo puede ser significativo solo para diámetros de partícula $<1\mu\text{m}$ (Yao et al, 1971).

Sedimentación o el efecto de la gravedad y la velocidad de asentamiento asociada de las partículas, en este mecanismo las partículas suspendidas se separan de las líneas de flujo y les permite alcanzar los granos de arena (colector). Este mecanismo es significativo para diámetros de partícula $>1\mu\text{m}$ (Yao et al, 1971) y juega un papel importante en la filtración debido al tamaño del área superficial en los granos disponible para la deposición. La densidad de las partículas y la temperatura son factores importantes en la sedimentación. La combinación de la difusión y la sedimentación ocasiona la remoción de partículas tan pequeñas como $1\mu\text{m}$, que son mucho menores al tamaño de los poros en el lecho de arena.

La intercepción ocurre cuando el movimiento de las partículas a lo largo de las líneas de flujo sean lo suficientemente cerca del colector para que ocurra un contacto (se estima una distancia <0.5 del diámetro de la partícula). Aunque la intercepción ha sido considerada como un marcado mecanismo de transporte, algunos investigadores lo han incorporado como una condición de frontera por la adherencia resultante de la difusión y la sedimentación (Amirtharajah, 1988), ver Figura 6.

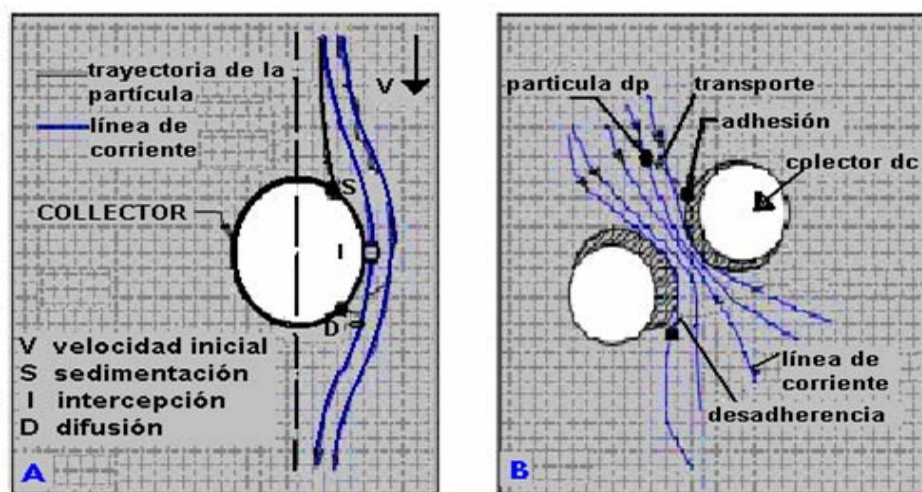


Figura 6. Los mecanismos básicos de transporte en la filtración de agua (A: Yao et al, 1971; B: Amirtharajah, 1988)

Cuando las partículas están cerca de los colectores, las fuerzas de superficie causan su adherencia a los colectores. La adherencia puede involucrar atracción electrostática, fuerzas de London-van der Waals o interacciones químicas superficiales. Sin embargo, sobre la base de la experiencia con filtración rápida, no es claro como las partículas se adhieren finalmente y como pueden ser removidas efectivamente por FLA, sin el uso de coagulantes químicos. La mayoría de las partículas, así como de los granos de arena, están cargados negativamente alrededor de un rango de pH neutro y esto puede limitar el papel de las fuerzas Van der Waals, las cuales requieren que las partículas estén prácticamente en contacto con la superficie del grano o del material previamente depositado (Haarhoff y Cleasby, 1991).

Jorden (1963, citado por Haarhoff y Cleasby, 1991) consideró la posibilidad de cationes polivalentes actuando como un puente entre las partículas y el área superficial del filtro. En concordancia con esa hipótesis, se ha encontrado que la absorción de virus en la arena se hace mayor al incrementarse la fuerza iónica y los niveles de concentración de cationes de alta valencia en la solución. Debido a la importancia de la actividad biológica en FLA, Haarhoff y Cleasby (1991) consideran viable que la adsorción involucre la adherencia de partículas ayudadas por acciones biológicas como la de los polímeros exocelulares producidos por los microorganismos. Estos polímeros exocelulares son capaces de flocular suspensiones de kaolín (Pavoni et al, 1972) y organismos en lodos activados (Metcalf y Eddy, 1979; Galvis, 1981). Bellamy et al (1985, 1985a) han encontrado que los microorganismos que crecen en la superficie del material filtrante pueden producir polímeros exocelulares. Sugirieron que esto también ocurre en los FLA y que esos polímeros facilitan la desestabilización de la arcilla y por lo tanto las bacterias mejoran la adhesión a las partículas de biomasa disponibles en las capas superiores del lecho de arena ayudando a su remoción del agua.

Lloyd (1974; 1996), trabajando con celdas de filtración a escala experimental de flujo continuo, encontró que el protozooario *Spirotrich Tachisoma Pellionela* creció más rápidamente en el flujo entre las celdas, pero no pudo remover más bacterias en la arena inoculadas con células. Esto se correlaciona con sus observaciones microscópicas en las que los organismos que rozan las bacterias están adheridos a la superficie de la arena, Lloyd concluye que los organismos adheridos probablemente cumplen un papel vital en mantener activa la capacidad de la superficie de la arena para la absorción.

3.2 Limitaciones

3.2.1 Niveles de contaminación que exceden la capacidad de tratamiento

Los sólidos suspendidos o la turbiedad. Altos niveles de turbiedad, o la turbiedad de naturaleza coloidal puede ocasionar dificultades para el tratamiento con FiME. No obstante estos problemas son definitivamente menores que para el sistema FLA, donde estos factores pueden generar bloqueos prematuros en las unidades FLA (resultando en carreras de filtración menores a un mes) y reducir la eficiencia del tratamiento al cubrir parte de los microorganismos biológicamente activos. Para las unidades FLA, los autores señalan distintos límites para los niveles de turbiedad afluente (Galvis, 1999). Los valores sugeridos varían desde menos de 5 UNT hasta 50 UNT. Otros autores aceptan valores mayores en el rango de 50 a 120 UNT, siempre y cuando se presenten durante un período corto (pocas horas durante uno o dos días), aunque reconocen que estos valores tan altos no son deseados.

Hierro y manganeso Bacterias que contribuyen a la oxidación del hierro y el manganeso están presentes en el lecho filtrante. Una baja concentración de hierro mejora en el sistema FiME la capacidad de remoción de componentes orgánicos. Sin embargo, concentraciones mayores a 1 mg/l, pueden contribuir significativamente a la colmatación de las unidades FLA.

Algas Las algas crecen en ríos, lagos, reservorios y en el agua sobrenadante del sistema FLA y de los filtros de grava. La presencia de algas en una cantidad moderada es usualmente benéfica para la FiME. La mayoría de las algas son retenidas por el FLA, pero bajo ciertas condiciones se puede presentar un crecimiento masivo de algas (floreamiento). Este crecimiento masivo puede provocar que los filtros se colmaten muy rápidamente. El crecimiento de las algas puede producir altas concentraciones de material orgánico soluble y biodegradable en el agua, los cuales, a su vez, crean problemas de sabor y olor, y pueden contribuir al crecimiento microbiano en el sistema de distribución.

Materia orgánica natural Una limitación del sistema FLA es su baja eficiencia en la remoción del color y del carbono orgánico. Diferencias muy significativas en la eficiencia de remoción han sido reportadas en la literatura, las cuales parecen depender principalmente de la constitución de los compuestos orgánicos. Investigaciones de campo en Colombia mostraron que las unidades de FLA removieron entre 5% y 40% de COD

(con un valor medio de 16%), sin hallarse diferencias significativas entre los ríos de zonas altas y bajas.

Color Real La mayoría de la coloración del agua proviene de los materiales en suspensión. El color real es el que permanece cuando este material es removido mediante centrifugación. El método estándar de platino-cobalto (Pt-Co) es utilizado para medir el color real a través de comparaciones visuales con una serie de soluciones estándar que contienen cantidades conocidas de cloroplatinato de potasio y cloruro de cobalto (II). Un nivel bajo de color es deseable desde una perspectiva estética, pero también porque existe un potencial de formación de sub-productos perjudiciales como resultado de la reacción entre los químicos en el proceso de purificación y el contenido de materia orgánica representado en el color real.

Alta contaminación microbiológica En algunas comunidades la única fuente de agua disponible puede estar fuertemente contaminada con microorganismos dañinos y el sistema FIME puede no estar en capacidad de garantizar agua de buena calidad. La estrategia adecuada es explorar fuentes alternativas o la adopción de un tratamiento mucho más sofisticado que puede ser más costoso y difícil de operar. La solución en el largo plazo debe apuntar hacia el mejoramiento de las fuentes de agua mediante la protección preventiva y el tratamiento de las aguas residuales.

3.2.2 *Condiciones que inhiben o reducen la eficiencia del proceso de tratamiento*

Varias circunstancias pueden interferir con el proceso de tratamiento y reducir la eficiencia de las unidades FIME.

Baja temperatura Las bajas temperaturas incrementan la viscosidad del agua y reducen la actividad bioquímica en el lecho de arena, afectando la eficiencia del tratamiento. La remoción de E. Coli se puede reducir del 99% al 50% cuando la temperatura se reduce de 20°C a 2°C, respectivamente. La estrategia en regiones estacionales con inviernos fuertes es evitar el congelamiento o reducir el impacto de bajas temperaturas, para lo cual se cubren o se entierran los filtros, con sus correspondientes implicaciones económicas. Reducir las tasas de filtración es otra manera de reducir el impacto de las bajas temperaturas en el proceso de tratamiento.

Nutrientes Los microorganismos activos en el lecho de arena requieren nutrientes como carbono, nitrógeno, fósforo y azufre para su metabolismo y crecimiento. Los ácidos húmicos y fúlvicos, son ricos en carbón pero pobres en el contenido de otros elementos. Esta podría ser una explicación de las limitaciones de FLA para remover color natural de las fuentes de agua bien protegidas.

Oxígeno disuelto Los niveles de oxígeno disuelto en el agua se pueden reducir si hay una alta cantidad de material biodegradable, particularmente cuando los niveles de oxígeno disuelto en el agua son bajos, se pueden generar condiciones anaeróbicas

indeseables en la biopelícula del filtro. Esta condición anaeróbica en el filtro debe evitarse porque puede crear serios problemas en la calidad del agua, tales como mal olor y sabor y permitir la re-suspensión de metales con implicaciones estéticas, que pueden interferir en la etapa final de desinfección.

4. Costos y administración

4.1 Inversión inicial de capital

En general el costo de inversión en una planta de tratamiento de agua depende de varios aspectos claves, tales como:

- La capacidad de la planta
- El tipo de planta (tipo de tecnología)
- Los costos de los equipos (nacional e importado)
- Criterios de diseño y sus costos
- Precios de la tierra
- Los costos de los materiales (nacionales e importados)
- El costos de la mano de obra
- Ubicación geográfica
- Transporte
- Condiciones climáticas
- Nivel de competencia y márgenes de ganancia de las firmas constructoras

Una revisión de los sistemas FiME construidos en diferentes regiones de Colombia mostró que los materiales (concreto reforzado, grava, arena), el área de construcción, la excavación de los suelos, las estructuras (incluyendo las instalaciones para el almacenamiento de la arena) y la desinfección del agua; juntas representan aproximadamente el 80% de los costos de la inversión directa, sin incluir los costos de administración, las utilidades y los imprevistos (Galvis et al, 1989; Cinara-Mindesarrollo, 1996 y 1998). El 20% restante se distribuye entre los costos de las válvulas, el cerramiento, las instalaciones electricas, los accesorios y las tuberías. Estos valores se pueden expresar mediante el siguiente modelo de costos:

$$C = aQ^b$$

En el cual C es el costo de construcción; Q es la capacidad de la planta; y a, b son coeficientes. El valor del coeficiente "a" corresponde a la capacidad unitaria de la planta. El coeficiente b, usualmente es menor que 1, indicando las economías de escala. Si el valor de b es cercano a 1, la economía de escala es baja, y la eficiencia en los costos no se puede obtener incrementando el tamaño del sistema.

En un proyecto apoyado por el IRC, el grupo participante en la India desarrolló este modelo para la tecnología FLA y comparó los resultados con el empleado en los sistemas convencionales en La India, Sundaresan y Paramasivan, 1982. Sus conclusiones fueron que la FLA es más económica en términos de costos de inversión para las plantas de tratamiento de agua con una capacidad de producción menor a 50 l/s. Cuando los costos de operación y mantenimiento son también tenidos en cuenta, el punto de equilibrio se incrementa a 286 l/s.

En 1988, el Instituto Cinara, con el apoyo del IRC, desarrolló modelos de costos para sistemas FLA basados en experiencias con proyectos de prueba a escala real en las áreas montañosas del Valle del Cauca (Galvis et al., 1989). El estudio incluyó modelos para estimar las cantidades de obra y los costos de construcción de los sistemas FLA con caudales de diseño entre 2 y 30 l/s, usando tasas de filtración de 0.15 m/h. El estudio también evaluó las economías de escala y el efecto de la altura del filtro en los costos de inversión. También incluyó preliminarmente el costo de filtros gruesos en grava (FG), y se estimó que equivalen al 75% de los costos del sistema FLA. Este estimativo se basó en el primer experimento, a escala real, con la tecnología FG en Colombia. Se encontró que los costos de inversión para los sistemas que incluyen FLA y FG fueron más favorables que para los sistemas de plantas convencionales con capacidades hasta de 70 l/s (Galvis et al, 1989). CINARA trabajó posteriormente con valores más detallados basados en la comparación de los costos estimados para diferentes sistemas FiME que fueron diseñados empleando los criterios indicados en la Tabla 4.

Tabla 4. Criterios de diseño para las etapas de filtración de las plantas FiME en las que se basaron los modelos de costos

Criterio de diseño	Componente FiME				
	FGDi	FGAC	FGAS (2)	FGAS (3)	FLA
Tasa de filtración(m/h)	2	0.6	0.6	0.6	0.15
Profundidad del lecho filtrante (m)	0.60	1.2	1.2 (1)	1.2 (1)	1.05 (2)
Altura del filtro (m)	0.80	1.4	1.4 (1)	1.4 (1)	1.90
Altura del agua sobrenadante (m)	0.05	0.1	0.1 (1)	0.1 (1)	0.75
Borde libre (m)	0.15	0.1	0.1	0.1	0.10
Área superficial maxima (m ²)	10	25	25	25	100
Número de unidades en paralelo	2-6	2-6	2-6	2-6	4-12
Número de unidades en serie	1	1	2	3	1

FGAC: filtración gruesa ascendente en capas, FGAS: Filtración gruesa ascendente en serie

(1) Para cada unidad de filtración; (2) Incluyendo la capa media de soporte de 0.20 a 0.25m, con tubería PVC corrugada disponible comercialmente para el sistema de drenaje.

Los diseños fueron hechos para plantas con diferentes capacidades. Los costos fueron establecidos multiplicando las cantidades de obra con los pecios unitarios vigentes en ese periodo en la región del Valle en Colombia. Estos costos en diferentes sistemas FiME fueron comparados con sistemas de tratamiento convencional por FiR (Figura 7). Los resultados muestran que dependiendo del tipo de sistema FiME, se presenta un menor costo de construcción para plantas de tratamiento con capacidades menores a 21 l/s, para sistemas FiME que combinan FGDi con FLA, y de 8 l/s para la combinación más grande de FiME con FGDi, 3 etapas de FGAS y FLA. Al considerar los costos de O&M se incrementan las ventajas competitivas de FiME frente a la FiR.

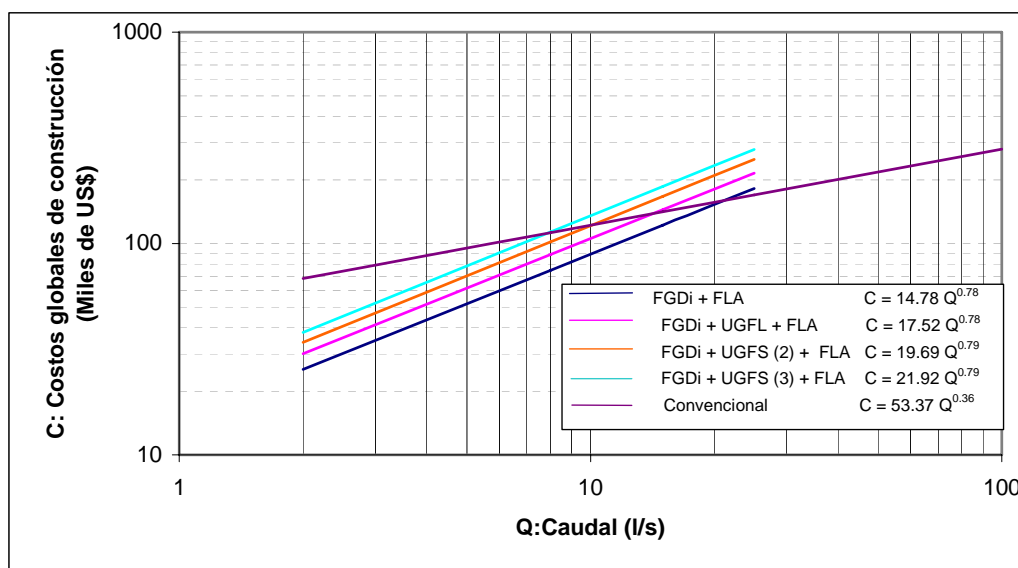


Figura 7. Costos globales de construcción para las alternativas FiME y para las plantas FiR convencionales; región del Valle del Cauca, Colombia (Galvis, 1999)

Las siguientes observaciones pueden efectuarse respecto a la construcción y a los modelos de costos:

- El método propuesto para obtener estos modelos han sido encontrados útiles para hallar valores estimados de los costos preliminares.
- Los modelos han sido desarrollados para capacidades de tratamiento que varían entre 2 y 25 l/s.
- Los modelos de costos son solo aplicables para la región donde los costos unitarios se han establecido. No obstante, los modelos pueden ser ajustados para una situación o región en particular, mediante un trabajo de evaluación de la tecnología en la región en cuestión. El nivel de confianza del costo estimado depende en gran parte de la calidad de la información referente a los costos unitarios.
- Para la tecnología FiME, los costos se incrementan con el nivel de riesgo asociado a las fuentes de agua. Un alto riesgo implica un gran número de etapas de filtración, mayores costos de operación y mantenimiento y mayores costos de inversión.
- Bajo condiciones similares de operación (capacidad de planta, materiales de construcción, costos laborales, precios unitarios, y calidad del agua cruda), la opción FiME que incluye FGAC es la más económica, seguida por las opciones que incluyen FGAS (2) y FGAS (3). Cuando estas alternativas de FiME operan con distintas tasas de filtración, los modelos de costos se convierten en una herramienta para facilitar el análisis económico.

4.2 Costos de operación, mantenimiento y administración

La mayoría de los estudios de costos referentes al tratamiento de agua se limitan a los costos de inversión, y usualmente se refieren solo a la FiR. Se sabe muy poco acerca de los costos de operación, mantenimiento y administración, especialmente en sistemas FiME. Los factores con un efecto importante en los costos de operación, mantenimiento y administración en un sistema de tratamiento de agua son:

- Costos de mano de obra
- Costos de los insumos (nacionales e importados)
- Requerimientos de mantenimiento
- Costos de energía
- Regulaciones de la calidad del agua
- Número de usuarios

Basados en la experiencia con plantas FiME a escala real operando bajo condiciones de flujo a gravedad en la región del Valle en Colombia, los costos de funcionamiento de esta tecnología son principalmente de mano de obra. La experiencia con FiME desarrollada por un periodo de más de diez años indica que los costos de personal significan aproximadamente el 85% de los costos operacionales. El otro 15% lo conforman factores como la electricidad, el agua para lavado y la jardinería. Este estimativo obtenido durante las actividades preliminares y a través de la información recolectada de las organizaciones y líderes comunitarios, incluye el tiempo de administración, el cual varía significativamente entre comunidades (CINARA, 1998). Se pretende que el desarrollo progresivo de pequeñas empresas comunitarias de agua y saneamiento en Colombia contribuirá a mejorar el manejo del tiempo y a reducir tiempos innecesarios en la administración del sistema, el cual incluye el tiempo gastado en la solución de conflictos dentro y fuera de las organizaciones comunitarias.

Como se indicó, los valores de los costos pueden variar considerablemente debido a que ellos dependen de las condiciones locales. La tabla 5, presenta una visión general basada en datos de Colombia reportados por Alzate (2000) para sistemas de hasta 10 l/s. La tabla muestra claramente que los costos de O&M son considerablemente bajos para los sistemas FiME.

Es importante tener en cuenta que la tubería y la red de distribución representan el componente de costo más grande en los sistemas de suministro de agua donde quizás el costo de la planta de tratamiento representa solo del 25% al 40% del costo total. También es importante notar que el costo de bombear el agua no está incluido en los costos anuales de O&M ya que los datos vienen de los sistemas FiME que trabajan con un flujo de gravedad. Sin embargo los costos de bombeo pueden ser considerados para hacer equivalentes todas las alternativas que están siendo comparadas en un área.

Tabla 5. Comparación de costos de tratamientos FiR y FiME en Colombia

	Costos de construcción por l/s	Costos anuales de O&M por l/s
FiME (2 – 10 l/s)	US\$ 16700 – 27800	US\$ 470 – 1375
FiR (2 – 10 l/s)	US\$ 16700 – 46400	US\$ 1375 – 3740
<p>Los costos se basaron en sistemas de cuatro regiones de Colombia con precios de 1999 (Alzate 2000). Los costos son sólo indicativos ya que pueden variar de acuerdo a las condiciones locales. Altos costos se relacionan con sistemas pequeños. En Colombia 1 l/s (86.4 m³/día) representa el suministro de agua de 450 a 600 personas.</p>		

5. Experiencia e investigación

En Latinoamérica y el Caribe, la tecnología FLA ha sido utilizada para tratar agua en grandes ciudades como Buenos Aires y Kingston. La mayoría de ciudades en esta región, sin embargo, usan la tecnología FiR. En la mayoría de los casos, la introducción de la FLA a la región fue adelantada sin ajustarla a las condiciones locales, y como resultado de ello, su impacto ha sido muy limitado. La mayoría de plantas con FLA fueron construidas en países como Brasil (Hespanhol, 1969) y Perú (Canepa, 1982; Pardón, 1989; Lloyd y Helmer, 1991) donde tuvieron grandes dificultades en el diseño, la operación y el mantenimiento. Situaciones similares se presentaron en África, en países como Camerún, Kenya y Zambia, y también en Asia; en India, Pakistán y Tailandia. En el estado de Andhra Pradesh en India, por ejemplo, existen más de 2000 sistemas FLA pero la mayoría de ellos presentan deficiencias de diseño y operacionales (Visscher, 2006).

A pesar de estas dificultades, se generó un interés renovado en FLA al final de la década del 70. El proyecto más extenso fue el proyecto del IRC de Investigación y demostración de la tecnología FLA implementado entre 1975 y 1985 en la India, Tailandia, Kenya, Sudán, Jamaica y Colombia. Otras actividades de investigación también fueron llevadas a cabo por organizaciones en Inglaterra y Suiza, contribuyendo a su difusión y a la comprensión del potencial de la tecnología y de sus limitaciones.

Durante los años 90's, el interés en FLA fue creciendo en numerosos países, en particular en La India, Colombia, Perú, Estados Unidos, y también en algunos países Africanos y en Pakistán. Durante este tiempo se tomó conciencia de que el sistema de pre-tratamiento era una necesidad prioritaria para los sistemas FLA, lo que llevó al desarrollo de la FIME por el Instituto Cinara en Colombia, como se describió en la introducción de este TOP. Posteriormente Cinara promovió la aplicación de la FiME a través de proyectos de aprendizaje en equipo y demostración en Bolivia, Ecuador, México, y más recientemente (2005) en Honduras.

Otros investigadores también contribuyeron en el desarrollo de la tecnología FLA y FG:

- Wegelin (1986), Lebcir (1992) y Boller (1993) enfocándose en modelos de exploración de remoción de sólidos con arcillas suspendidas;
- Di Bernardo en Brazil y Lloyd (1974, 1996) en Perú y en Inglaterra, con énfasis en los procesos biológicos;
- Graham (1996) de Inglaterra con la aplicación de mantas sintéticas en los filtros; y Collins (1996) quién ayudó a reintroducir la FLA en Estados Unidos. Collins co-organizó con Graham y otros, dos conferencias internacionales y dos talleres regionales sobre filtración lenta con arena. Recientemente (2006) en Alemania co-organizaron la conferencia internacional sobre filtración lenta en arena como proceso de biofiltración

La mayoría de los estudios han sido implementados en pequeños filtros frecuentemente usando tubos de acrílico con un diámetro de 15 a 20 cm, aunque las investigaciones en Cali, Colombia, usaron filtros piloto con un diámetro de 1.5 m. La limitación de las pequeñas unidades piloto puede ser que su comportamiento hidráulico no refleja lo que ocurre en unidades a escala real, y tampoco dan una impresión adecuada de los verdaderos requerimientos de O&M.

La mayoría de las investigaciones en FLA y FiME se concentraron en la remoción de sólidos suspendidos o en la turbiedad, y de forma menos extensa en la remoción de los coliformes fecales. Menos importancia se le dio a otras sustancias como el hierro, el manganeso o al material orgánico natural, el cual puede ser relevante en el comportamiento de la FiME y de la FLA, para la aceptación del agua tratada por parte de las comunidades, así como para el desempeño de la desinfección.

El nivel limitado de investigaciones usando sistemas a escala real en paralelo con investigaciones de laboratorio ha limitado el desarrollo de plantas de tratamiento FiME. De acuerdo con Collins (1999) "Estudios en-sitio reducen ampliamente las confusiones inducidas por la variación en la calidad de las aguas crudas y hacen la comparación de la tecnología de tratamiento mas significativa y equivalente". La falta de dicha investigación, particularmente en países en vía de desarrollo, esta impidiendo desarrollos posteriores de FiME con tecnologías relacionadas con ella.

Investigaciones en Colombia confirman que investigación en laboratorio, pruebas a escala piloto y plantas a escala real se refuerzan mucho unas a otras y conducen a resultados más significativos. Los estudios incluyen proyectos a largo plazo monitoreados por líderes comunitarios con bajos niveles de escolaridad, bajo la supervisión de organizaciones con más capacidad de soporte técnico y gerencial. Otros aspectos como los costos de construcción y los costos de O&M han sido incluidos en algunos estudios para hacer mas fácil la estimación del costo de capital y los costos de funcionamiento, los cuales deberían contribuir a la selección de soluciones más sostenibles bajo condiciones locales. Un seguimiento a varios sistemas FiME construidos bajo el programa de transferencia de tecnología en Colombia al principio de los años 90's reveló que los sistemas FiME todavía están funcionando. Sin embargo, solo en comunidades donde las "condiciones de trabajo" habían sido establecidas, en términos de entrenamiento y soporte para los operarios, estaba funcionando correctamente. Otros sistemas FiME requieren ser mejorados (Visscher, 2006).

5.1 Estudios Preliminares con Unidades Piloto de FiME

Un sistema experimental con unidades a escala piloto se construyó en Cali en 1986 para establecer el potencial de los filtros gruesos en gravas y superar las limitaciones de la calidad del agua en los filtros lentos en arena usando un río altamente contaminado en un ambiente Andino tropical. Aunque experimentalmente, los sistemas eran suficientemente grandes para proveer agua a una pequeña comunidad, el sistema construido en Puerto

Mallarino fue alimentado por gravedad con agua del Río de Cauca, tomado del afluente de la principal planta del tratamiento de agua de la ciudad de Cali. El sistema experimental comprendió cinco líneas paralelas de FiME; cada una compuesta por diferentes alternativas de unidades de filtración gruesa (FG) y filtración lenta en arena (FLA) trabajando conjuntamente. La fase de FG incluyó, filtración gruesa de flujo descendente (FGD), filtración gruesa de flujo ascendente en capas (FGAC) y en serie (FGAS). Las tasas de filtración se fijaron en 0.7 m/h y 0.15 m/h en las etapas de FG y FLA respectivamente. La Figura 8, ilustra el esquema de la planta piloto en la estación de investigación de Puerto Mallarino, Cali-Colombia.

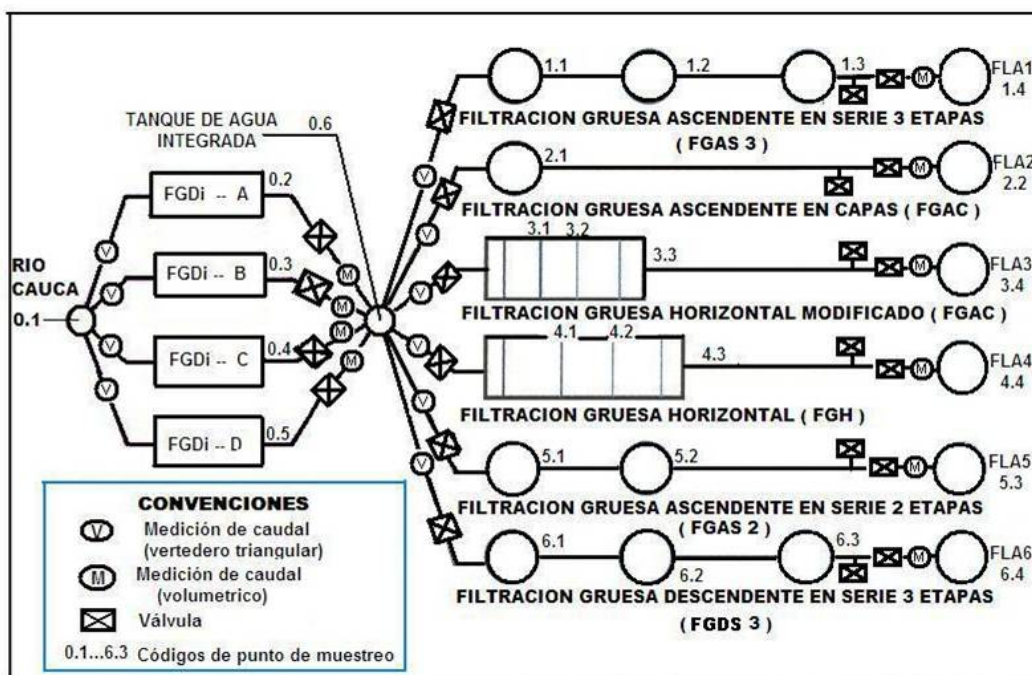
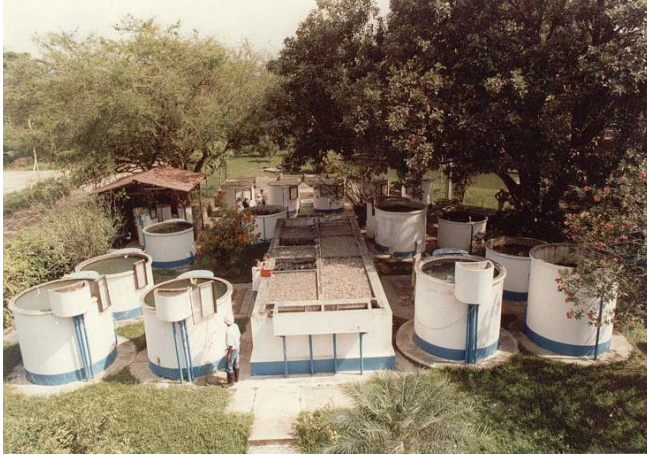


Figura 8. Diagrama de flujo del sistema piloto de filtración en múltiples etapas (FiME)

La investigación se llevó a cabo por más de 10 años en Puerto Mallarino (foto 1) durante este periodo la calidad de agua se monitoreo regularmente. Los datos indicaron que los niveles de turbiedad para el 90% de las muestras estaba por debajo de 80 UNT en el agua cruda pero habían valores picos de mas de 3600 UNT. El río esta altamente contaminado y su conteo de coliformes presentó un promedio de 63,000 unidades formadoras de colonias (UFC/100 ml) con niveles máximos de más de 500,000 UFC/100 ml (Galvis et al, 1989). Los resultados iniciales fueron positivos especialmente en la remoción de turbiedad, pero se tuvieron conteos de coliformes fecales entre 50 y 200 UFC/ 100ml, los cuales son considerados elevados para el efluente de la FiME.



Unidades de FiME de la planta piloto en la estación de investigación de Puerto Mallarino, Cali-Colombia.

Se hicieron ajustes a los sistemas los cuales ayudaron a mejorar considerablemente los resultados. Basado en estos resultados Galvis (1999) concluyó que las diferentes alternativas de FG que fueron probadas con FiME, presentan buenos resultados con velocidades de filtración hasta de 0.6 m/h y en la FLA hasta 0.15 m/h y todos los ensayos produjeron efluentes con bajo riesgo microbiológico (≤ 3 y ≤ 25 UFC/100 ml para coliformes fecales). Estos resultados abrieron la posibilidad de obtener agua segura incluso a partir de fuentes altamente contaminadas, utilizando la desinfección como una barrera de seguridad después del proceso de FiME.

En este periodo, el desempeño de varios sistemas FiME a escala real en la región del Valle del Cuaca también fueron supervisados por Cinara (Tabla 6). Los datos mostraron que estos sistemas de FiME fueron capaces de tratar calidades de agua con niveles promedio de turbiedad entre 3 y 24 UNT, y cargas máximas entre 15 y 300 UNT. La remoción de coliformes fecales es impresionante, confirmando así el potencial de FiME para reducir el riesgo de transmisión de enfermedades de origen hídrico. El color también fue removido con éxito, reduciendo los niveles promedios de color entre 5 y 30 UPC (con valores máximos de hasta 200 UPC), hasta niveles promedios entre 3 y 4 UPC con máximos de hasta 30 UPC.

Tabla 6. Desempeño de diferentes sistemas de FiME en regiones del Valle (1990 – 1998)

Nombre	Caudal l/s (1)	Turbiedad (UNT) (2)		Conteo de Coliformes Fecales / 100ml (2)	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida
El Retiro	15.1	14 (180)	0.6 (2.7)	5847 (69,500)	0.5 (8)
Cañasgordas	8.9	12.1 (75)	0.8 (4.1)	7000 (223,000)	1.5 (23)
La Rivera	3.8	5.9 (51)	0.6 (4.3)	3600 (23,100)	0.5 (28)
Javeriana	1.8	24.2 (300)	0.9 (12)	14,935 (204,000)	0.8 (25)
Shaloom	1	3.8 (22)	0.8 (2.9)	2895 (14,200)	4.3 (46)
Colombo	0.6	14.6 (122)	0.6 (6)	51,900 (677,000)	0.9 (82)
La Marina	7	6 (112)	1.1 (6.2)	803 (35,700)	1.8 (28)
Ceylan	9.4	2.8 (15)	0.4 (5.8)	330 (1920)	0.9 (12)
Restrepo	0.8	7.5 (55)	0.6 (2.8)	831 (15100)	0.7 (23)

1. Capacidad de Planta en l/s (1 l/s provee 350 Personas con 250 litros diarios)

2. La tabla muestra los datos mínimos; los datos máximos se presentan en paréntesis.

Simultáneamente a estas investigaciones, un programa nacional de transferencia tecnológica de FiME fue desarrollado e implementado en ocho regiones colombianas. En este periodo, 16 proyectos demostrativos fueron desarrollados y se constituyeron en la base para fortalecer la capacidad institucional y el nivel profesional, permitiendo la diseminación de la tecnología FiME en Colombia. Actualmente hay más de 125 plantas de FiME a escala real operando en diferentes regiones de Colombia.

Las investigaciones recientes apuntan cada vez mas a optimizar el desempeño de los procesos y los mecanismos involucrados en la eliminación de componentes específicos. Un claro ejemplo es el trabajo elaborado por Collins y Graham, Di Bernardo y Cinara con mantas naturales y sintéticas no tejidas para proteger el lecho de arena en las plantas FiME. Hasta ahora los resultados han mostrado un incremento en la vida útil de los filtros y un potencial en la aplicación de tasas de filtración más altas sin afectar adversamente la calidad del agua (La foto 2 muestra una planta a escala real usando mantas sintéticas FLA). Esta aplicación podría permitir que los sistemas de FiME provean mas agua para más personas sin necesidad de una gran inversión. Sin embargo, generalmente se necesita más investigación y más datos para producir pautas óptimas para su aplicación a escala real las plantas de FiME. Collins ha conducido investigaciones en cooperación con numerosas empresas de acueducto en los Estados Unidos describiendo material orgánico natural y buscando su remoción en diferentes procesos de tratamiento de agua incluyendo FLA, por los riesgos en la formación de subproductos de la desinfección con cloro, los cuales pueden ser perjudiciales para la salud. Collins también ha llevado a cabo investigaciones acerca del papel de Schmutzdecke (Biopelícula) y la temperatura en la remoción microbiológica en FLA. Para información adicional enlazar con <http://www.unh.edu/civil-engineering/research/erg/faculty/Collins/>



Otras investigaciones se enfocan en el uso de cloro con prefiltros para la remoción de hierro y manganeso, y en la remoción de hierro y arsénico a nivel familiar. Algunos resultados interesantes pueden ser consultados en

<http://www.unesco-ihe.org/mui/projects/default.htm?http://www.unesco-ihe.org/mui/projects/arsenic.htm>

Plantas de FiME con mantas sintéticas. Proyecto de investigación desarrollado por Cinara en Cali, Colombia

6. Desarrollo y perspectivas de la FiME para alcanzar las Metas de Desarrollo del Milenio

El acceso al agua segura y el adecuado saneamiento son factores esenciales para mejorar la salud pública, reducir pobreza y facilitar el desarrollo económico, particularmente en países donde gran parte de la población está afectada por enfermedades relacionadas con el agua. Estas enfermedades son las tres causas principales de mortalidad y morbilidad en el mundo (Craun et al, 1994).

En los años 90s, el número de niños muertos por diarrea fueron alrededor de 2.2 millones por año (WHO, 2000) – provocados por la ausencia de agua segura y de servicios sanitarios- este número de muertos fue mayor que el número de víctimas de todos los conflictos armados reportados desde la segunda guerra mundial. Además, la mitad de las camas de los hospitales en el mundo están ocupadas por pacientes con afecciones relacionadas con el agua. Servicios de salud muy costosos están siendo usados para tratar enfermedades que son fáciles de prevenir. La falta de agua potable afecta principalmente a los habitantes pobres de las comunidades rurales, cuyo sustento depende de la disponibilidad de agua y de los recursos que proporciona la tierra. Las soluciones en saneamiento inadecuadas y el crecimiento demográfico en las ciudades exacerbaban esta situación e incrementa la pobreza en las áreas urbanas.

Mejorar las conexiones de los hogares con redes centrales para suministro de agua, establecer fuentes de agua, tales como sistemas de bombeo y pozos, así como recolectar las aguas lluvias y proteger las fuentes de agua, son algunas de las actividades e iniciativas que deben ser emprendidas para alcanzar un mejoramiento sostenible en el abastecimiento de agua segura. Es vital entender los efectos de los costos de la administración, operación y mantenimiento, los cuales deben ser apropiados para las condiciones locales.

La consideración de las condiciones locales también incluye el mal uso y la pobre protección de las áreas de captación, la contaminación de los ríos con residuos sólidos, residuos líquidos domésticos, pesticidas y químicos de la agricultura, la industria y la minería. Estas consideraciones son especialmente importantes en los países donde los sistemas de agua dependen de las fuentes superficiales. En América latina ese es el caso para el 80% de los sistemas.

La tecnología FiME tiene ventajas significativas, como la no utilización de químicos, equipos o materiales importados. Es un sistema que puede ser fácilmente administrado, operado y mantenido por las organizaciones comunitarias. Los proyectos que vienen operando por más de diez años han mostrado que el impacto de construir plantas FiME ha tenido un mínimo efecto sobre las tarifas. Los casos de estudio muestran que la tarifa nunca excedió el 4% de los ingresos familiares. Por lo tanto, la tecnología FiME tiene la

capacidad de contribuir a la Meta 10 de Desarrollo del Milenio, “reducir a la mitad, para el 2015, la proporción de las personas sin acceso sostenible al agua segura”.

Basados en los datos provenientes de Colombia, para los sistemas que proveen alrededor de 150 lpd. El costo de construcción de dichos sistemas usando la tecnología FiME varía entre US \$27 y \$46 por persona, representando entre el 25% y el 40% de los costos totales de los sistemas de abastecimiento de agua. Lo cual implica una inversión considerable, pero de acuerdo a Hutton y Haller (2004 citado por Visscher 2006), los beneficios económicos de esta inversión exceden su costo y conducen a un crecimiento acelerado.

El costo de operación y mantenimiento de los sistemas FiME (excluyendo el soporte) puede variar entre US\$ 0.7 y \$ 2.2 por año (entre U\$1.3 y 4.1 centavos por persona a la semana) lo cual, parece accesible para una persona que vive con menos de un dólar por día. Mientras estos datos no puedan ser generalizados, se espera que los valores sean de una magnitud similar para otras localidades (Visscher 2006).

7. Estudios de Caso

7.1 Intercambio de información entre comunidades facilita recuperar la planta FiME en La Tulia - Bolivar

La comunidad de la Tulia ubicada en el municipio de Bolívar- Valle del Cauca, posee una planta de tratamiento FiME que tiene deficiencias de operación y mantenimiento y se estaba suministrando agua cruda a los usuarios. Ante tal situación en el marco del programa de abastecimiento de agua rural en el departamento del Valle del Cauca, PAAR, se promovió el intercambio de experiencias entre comunidades.

De esa forma se logró que la administración del acueducto de La Tulia realizara un proceso de intercambio de conocimiento con las comunidades de El Retiro y La Sirena que poseen planta de tratamiento por FiME operando desde hace 18 años en la ciudad de Cali. El objetivo del intercambio fue ampliar sus conocimientos sobre la operación y el mantenimiento de la planta de tratamiento para agua de consumo con la tecnología de filtración en múltiples etapas, FiME, e identificar como se puede recuperar el sistema para ponerlo en operación.

Esta actividad fue muy valiosa; a partir de ella la administración de la Tulia realizó la optimización de su planta de tratamiento con la realización de los siguientes trabajos:

- Lavado de la arena de los filtros
- Enlucimiento e instalación de tapas en las cámaras de salida del agua tratada
- Instalación de accesorios a la entrada del agua en los filtros lentos
- Ajustes y control a las labores de operación y mantenimiento.

De esa forma la administración comunitaria de La Tulia puso en operación la planta FiME y ha avanzado en la gestión del servicio con mejor calidad pero también mejoraron los procesos administrativos, especialmente en el componente contable, atención a los usuarios y lectura de medidores.

Para más información, contacte a: Silena Vargas, Trabajadora Social, Instituto Cinara - Universidad del Valle. Email: sivargas@univalle.edu.co

7.2 Prefiltración en gravas más oxidación para la remoción de hierro y manganeso

En una investigación realizada por el instituto Cinara-UNIVALLE y patrocinada por COLCIENCIAS se han evaluado tecnologías a escala piloto para la remoción de hierro y manganeso de aguas subterráneas y superficiales. Se ha trabajado con filtros en gravas de flujo ascendente en capas en una sola etapa y en serie en una y dos etapas. La oxidación se ha realizado con aireación y con oxidación con cloro antes de las unidades

de prefiltración. En la Tabla 7, se presentan las características operacionales de las tecnologías evaluadas, incluyendo tipo de fuente y eficiencia de remoción de los parámetros de interés y en la Tabla 8, se comparan las alternativas de tratamiento.

Tabla 7. Características Operacionales de las Tecnologías Evaluadas

Tecnología	Fuente	Velocidad de Filtración (m/h)	Componentes del sistema	Lecho Filtrante	
				Granulometría	Altura total (m)
Oxidación FGAS 2	Superficial	3	Hipoclorador de cabeza constante y dos unidades de filtración gruesa ascendente en serie	De 1 ½ a ¼	1.0
Oxidación FGAS 3	Subterránea	3	Bomba dosificadora y tres unidades de filtración gruesa ascendente en serie	De 1 a 1/16	1.0
Aireación FGAC	Subterránea	0.48– 0.55	Bandejas de aireación y 1 filtro grueso ascendente en capas	De 1 ½ a 1/8	1.2

Tabla 8. Comparación de Tecnologías

Tecnología	Remoción (%)		Concentración media Efluente (mg/L)		Puntos de Discusión de las Tecnologías
	Fe	Mn	Fe	Mn	
Oxidación FGAS 2	58	*	0.56	*	<ul style="list-style-type: none"> Menor eficiencia en la remoción del hierro con respecto a las otras opciones evaluadas. Por el tipo de fuente, el sistema requiere mayor concentración de cloro, incrementando los costos de operación de la tecnología y otros efectos como olor y sabor. Interferencias de otros contaminantes con el cloro, generando riesgo por la formación de subproductos de la desinfección como resultado de la reacción de la materia orgánica y el cloro.
Oxidación FGAS 3	84	90	0.007	0.005	<ul style="list-style-type: none"> Mejores eficiencias de remoción del sistema. Por el tipo de fuente menor riesgo de formación de subproductos y mejor efectividad de la oxidación con hipoclorito de sodio. Mayor velocidad de filtración para los FGAS. Menores costos de inversión inicial. El área requerida es de 5 a 6 veces menor con respecto a los FGAC o FGAS convencionales (Vf entre 0.3 y 0.6 m/h).
Aireación - FIME	73	89	0.56	0.05	<ul style="list-style-type: none"> Buenas eficiencias de remoción del hierro y el manganeso. Menor riesgo por formación de subproductos. Mejor potencial de uso en fuentes superficiales con presencia de hierro y manganeso. Costos de inversión inicial 5 a 6 veces mayores a la tecnología Oxidación – FGAS 3.

* El Mn se detectado en la fuente; ** La fuente no presentó contaminación por E. Coli

Para mayor información contactar a Ing. Lina María Burbano, Universidad del Valle- Instituto Cinara, email: naribano@univalle.edu.co

7.3 Superando las variaciones de turbiedad combinando galería filtrante con filtros lentos de arena en Mizque-Bolivia.

El municipio de Mizque cuenta en su zona urbana con 600 viviendas y una población de 3040 habitantes. Mizque está ubicado en el departamento de Cochabamba- Bolivia capta agua del río Uyuchama, que presenta altos picos de turbiedad con duraciones mayores a 24 horas. Para superar estas limitaciones y garantiza agua potable a la población el Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos –PROSABAR construyó un sistema de tratamiento consistente en una galería filtrante y un sistema de filtración lenta en arena, FLA. El riesgo microbiológico en la fuente varía de medio a alto. Entre el período de estiaje y de lluvias se presentan variaciones bruscas de turbiedad con valores picos de larga duración (de 2 a 3 días e incluso una semana), con valores extremos de turbiedad de 1350 UNT.

La galería filtrante funciona y permite captar un caudal de 8 l/s. Está construida a lo ancho del río en una sección de 50 m y una profundidad de 5,0 m. La longitud del medio filtrante es de 2,26 m con capas de grava de 1/2" -3/4", 3/4"- 2" y de 2" - 4" y está recubierto por una capa de geotextil; el agua es captada a una bóveda de hormigón ciclópeo mediante orificios de 35 mm, en un extremo se tiene una cámara de inspección y en el otro una cámara recolectora con su respectiva tubería de conducción que lleva el agua a los filtros lentos de arena.

Los filtros lentos de arena están conformados por tres unidades de filtración. El área de filtración por unidad es de 33 m² y las tasas de filtración para estas unidades son de 0,30 m/h. Con la combinación de estas etapas de tratamiento se pudo evidenciar que la galería filtrante acondiciona el agua cruda para facilitar la operación de los FLA. El sistema presentó valores de remoción en turbiedad y coliformes fecales del orden del 99%, para un valor de turbiedad en el agua cruda de 400 UNT y 1230 UFC/100 ml de coliformes fecales. A la salida de la planta de tratamiento la turbiedad efluente vario entre 0,4 a 2 UNT, con duraciones de picos de turbiedad de 2 días.

Para mayor información, contactar a Alvaro Camacho, email: alcamachog@unete.com, o Luis Darío Sánchez, Ingeniero, Instituto Cinara, Universidad del Valle, email: luisanc@univalle.edu.co

7.4 La Filtración en Múltiples Etapas (FIME) para prevenir el crecimiento de biopelícula en las redes de distribución

La compleja interacción entre el material orgánico de la fuente y el desarrollo de biopelícula en las redes de distribución puede causar un deterioro progresivo de la calidad del agua en la red de distribución.

Este proceso fue demostrado en una comunidad ubicada en la zona rural del municipio de Cali en Colombia, donde se ocasionó una situación de emergencia que fue seguida por una revisión completa del sistema.

En la evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica de la fuente, se hallaron valores promedios de 4,000 UFC/100 ml de coliformes fecales y de 75,000 UFC/100 ml para coliformes totales. Estos no fueron adecuadamente removidos durante el tratamiento con coagulación química debido a problemas operativos y de diseño de la planta de tratamiento, que permitieron la penetración de contaminantes a la red de distribución y favoreció la formación de biopelícula, una capa viscosa de microorganismos en el área superficial de las tuberías. Lo cual suponía un riesgo microbiológico considerable para los usuarios.

Fueron tomadas muestras en varios sitios de la red de distribución, mostrando valores promedio de 2183 UFC/100 ml para bacterias heterotrofas, 7 UFC /100 ml para coliformes fecales y 39 UFC /100 ml para coliformes totales. Considerando estas condiciones, se llevo a cabo una investigación con el objetivo de tomar medidas para reducir los riesgos para la salud de los usuarios. Estas medidas incluyeron cambios tecnológicos en la planta de tratamiento, implantando un sistema de Filtración en Múltiples Etapas en combinación con la coagulación química (con cloruro férrico y sulfato de aluminio). El sistema FiME se utilizó filtros en gravas de flujo ascendente con filtros lentos de arena con carbón activado.

La planta de tratamiento fue diseñada para un caudal de 6 l/s. Esta compuesta de dos filtros dinámicos operando en paralelo, una estructura de mezcla rápida para dosificar el coagulante, dos floculadores de contacto o clarificadores que usan filtración de flujo ascendente, dos filtros de flujo ascendente en capas, y cuatro filtros lentos de arena. La planta comenzó a operar en 2003. En la Figura 9, se puede observar un esquema de la planta de tratamiento.

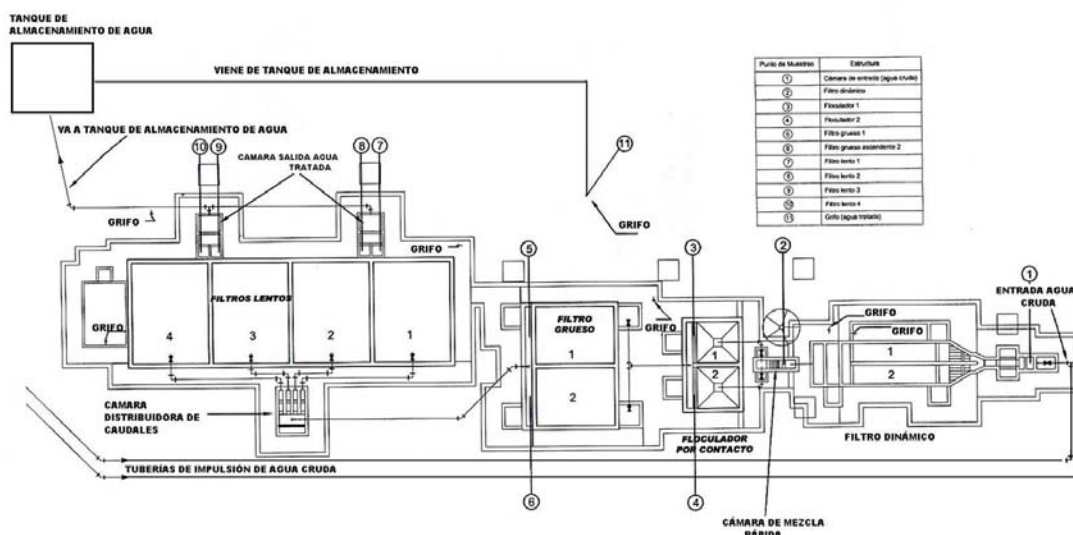


Figura 9. Esquema General de la Planta de Tratamiento

Una evaluación de la planta de tratamiento midió la turbiedad, el color real, los coliformes fecales y los totales, y las bacterias heterotróficas. Este estudio mostró que el sistema puede ser operado con coagulación química (25% del tiempo) cuando la turbiedad del afluente es mayor de 25 UNT y sin coagulante cuando (el 75% del tiempo) es menor que 25 UNT. Respecto al riesgo químico, la fuente presenta problemas de materia orgánica debido a la descarga de residuos domésticos en sitios anteriores al punto de entrada al sistema. Al efectuarse los análisis del color del agua se hallaron valores entre 9 y 36 UPC.

Los resultados indicaron que al final del proceso, las unidades de filtración lenta en arena producen agua con una turbiedad entre 0.1 y 0.65 UNT, color entre 2 y 7 UPC. Las mediciones de la contaminación microbiológica encontraron coliformes totales entre 0 y 39 UFC/100 ml y coliformes fecales entre 0 y 7 UFC/100 ml antes de la desinfección. La planta FiME tiene una eficiencia de remoción del 95% de la turbiedad, 73.3% de color, 99,72% de bacterias heterotróficas, 99,97% de coliformes fecales y 99,75% para los coliformes totales.

Para más información, contacte a: Instituto Cinara, Universidad del Valle, Grupo de investigación abastecimiento de agua. Luís Darío Sánchez Ing.MSc
luisanc@univalle.edu.co; Ing. Lina María Burbano naribano@univalle.edu.co.

7.5 Desempeño de una planta de filtración en múltiples etapas después de dos años en Ruanda

Después de dos años de su puesta en marcha, la Planta de Tratamiento de Agua (PTAP) de Nyabwishongwezi y sus detalles operacionales fueron monitoreados por un estudio corto. En este sistema de filtración en múltiples etapas operado por la asociación local de agua (REGIE) en Nyabwishongwezi, Ruanda, se analizó la turbiedad, los sólidos suspendidos, y la remoción de coliformes fecales. Los resultados indicaron que aunque la calidad del agua producida no satisfacía los lineamientos WHO, era mucho más aceptable estéticamente que la fuente de agua (el río Umuvumba). Pese a las dificultades operacionales, REGIE continuó operando el sistema y atendiendo a las comunidades rurales locales. El éxito relativo de la Regie de Nyabwishongwezi contrasta dramáticamente con la experiencia de las comunidades cercanas atendidas por la PTAP de Ntoma, las que reportaron que la planta solo funcionó durante dos días. La revisión de la planta de Nyabwishongwezi identificó varios problemas que fueron discutidos con la REGIE.

Este caso fue tomado de IWA Water Policy 6 (2004) 559-570.

<http://www.iwaponline.com/wp/00606/wp006060559.htm>

C. C. Dorea, B. A. Clarke and S. Bertrand

Contacto: CEHE –Centre for Environmental Health Engineering, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Surrey, UK <http://www.surrey.ac.uk/CEHE/>

7.6 Desempeño de la filtración en múltiples etapas utilizando diferentes medios de filtración en Kenya

Este estudio tiene como objetivo introducir la filtración en múltiples etapas como una tecnología alternativa para el tratamiento de aguas, usando una combinación de FLA y filtración horizontal (FH) como un sistema de pre-tratamiento. Una planta piloto de estudio fue construida, y el desempeño de la FiME fue evaluado contra los sistemas convencionales existentes, por su eficiencia en la remoción de ciertos contaminantes físicos y químicos del agua potable, así como por el mejoramiento en la calidad biológica del agua usando FiME sin químicos. La efectividad global del sistema FiME también fue evaluada, incluyendo la utilización de materiales disponibles en la localidad, Ej. grava, residuos agrícolas mejorados (carbón vegetal) y ladrillos calcinados para el filtro de pre-tratamiento. Los valores de referencia fueron los establecidos por la Oficina de Estándares de Kenya (KEBS) para cada parámetro seleccionado. Los resultados mostraron que con unas especificaciones adecuadas de diseño, los sistemas FiME tienen un mejor desempeño que los sistemas convencionales bajo similares condiciones ambientales, y de calidad de las aguas crudas. Los materiales disponibles localmente pueden ser también efectivamente usados como un medio de pre-tratamiento, permitiendo el funcionamiento del filtro por más de 82 días, y por lo tanto pueden servir como alternativas donde la grava río no es de fácil adquisición. La FiME mejora notablemente la calidad microbiológica del agua, alcanzando eficiencias en la remoción de más del 99% y del 98%, para el E. coli y para coliformes totales respectivamente. A pesar del desempeño observado, la FiME debe ser complementada con la cloración para prevenir las enfermedades de origen hídrico. No obstante, la dosis será ampliamente reducida en comparación a la suministrada en los sistemas convencionales.

Para más información, contacte a: GMM Ochieng¹, FAO Otieno^{1*}, TPM Ogada², SM Shitote² y DM Menzwa². E-mail: otienofao@tut.ac.za

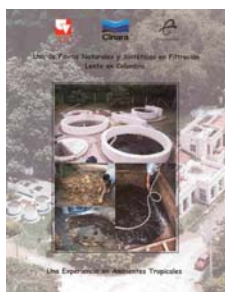
¹ Faculty of Engineering, Tshwane University of Technology, Private Bag X680, Pretoria 0001, South Africa

² Faculty of Technology, Moi University, PO Box 3900, Eldoret 30100, Kenya

<http://www.wrc.org.za/downloads/watersa/2004/July-04/10.pdf>

8. Recursos TOP

8.1 Publicaciones



Uso de Fibras Naturales y Sintéticas en Filtración Lenta en Colombia: Una Experiencia en Ambientes Tropicales (2001)

El documento resume los resultados de la investigación realizada sobre el uso de mantas naturales y sintéticas en la protección de los lechos filtrantes de filtros lentos en arena. El objetivo ha sido el de identificar el potencial de las mantas sintéticas y naturales como sistemas de protección a unidades de filtración lenta en arena, que son operadas como una de las etapas de tratamiento de sistemas FiME (Filtración en Múltiples Etapas), bajo ambientes tropicales. De la gran variedad de fibras naturales existentes en el país, se seleccionaron dos para ser evaluadas a escala piloto: Ecomusgo y Felpa. Las conclusiones del estudio mostraron que las mantas naturales seleccionadas generaron la presencia de microorganismos filamentosos que pueden ocasionar riesgo sanitario, lo que se considera como una de las limitaciones para su aplicación en agua para consumo humano



Multi-Stage Filtration: An Innovative Water Treatment Technology (1996). CINARA/IRC, ISBN 90-6687-028-1

El libro presenta la Filtración en Múltiples Etapas (FiME) como una tecnología sostenible que está en armonía con las condiciones locales y la disponibilidad de mayor capacidad de administración de un mayor número de comunidades. Los autores discuten la necesidad de una adecuada vinculación entre agencias y comunidades para asegurar la sostenibilidad de sistema de tratamiento de aguas. Se presenta información sobre costos y consideraciones para la selección de tecnología. Información detallada sobre diferentes sistemas de filtración por grava; y diferentes sistemas FiME seleccionados para tratar fuentes de agua con diferentes niveles de riesgo sanitario



Filtración en Múltiples Etapas Tecnología Innovativa para el Tratamiento de Agua (1998)

Univalle-CINARA, ISBN 958-8030-20-9

Entre 1989 y 1997 se desarrolló el proyecto de Investigación y Desarrollo de la Tecnología de Pretratamiento para Sistemas de Abastecimiento de Agua. El proyecto estuvo orientado a identificar y proponer alternativas para el tratamiento de agua viables, confiables y

compatibles con los sistemas de abastecimiento existentes en núcleos rurales y pequeños y medianos municipios. Se focalizó en el desarrollo de la Filtración en Múltiples Etapas, FiME, como una combinación de la filtración en medios de grava y la filtración lenta en arena que fue coordinado por el Instituto Cinara de la Universidad del valle y el IRC de los Países Bajos. Este libro presenta la experiencia generada por el proyecto de pretratamientos



Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento por Filtración en Múltiples Etapas: Manual para Operadores (1998)
Univalle-CINARA, ISBN 958-8030-19-6

Este manual consta de siete capítulos y tres anexos. Los capítulos 1 y 2 están dedicados a la presentación del sistema de abastecimiento de agua, la planta de tratamiento y su operador. En los capítulos 3, 4 y 5 se presentan los diferentes filtros de la planta de tratamiento (Filtro Grueso Dinámico, Filtro Grueso Ascendente y Filtro Lento). Los capítulos 6 y 7 presentan información general acerca de las tareas de operación y mantenimiento y de los problemas que con frecuencia se presentan en los filtros y como solucionarlos



Transferencia de Tecnología en el Sector de Agua y Saneamiento en Colombia: una Experiencia de Aprendizaje (1998)
Univalle-CINARA, ISBN 90-6687-026-s

El documento ha sido elaborado en el marco del programa de Transferencia Integral y Organizada de Tecnología en Sistemas de Abastecimiento de Agua, TRANSCOL, el cual se realizó en Colombia entre los años de 1989 a 1996. El programa se orientó a introducir en ocho regiones del país, una tecnología de potabilización de agua mediante la combinación de la Filtración en Gravas y la Filtración Lenta en Arena, conocida ahora como Filtración en Múltiples Etapas FiME. La publicación comprende cuatro capítulos: una descripción del programa y sus resultados una visión de los aspectos más importantes en la sostenibilidad de las inversiones, una discusión teórica y práctica acerca de la transferencia de tecnología y una visión acerca del enfoque de los proyectos de aprendizaje



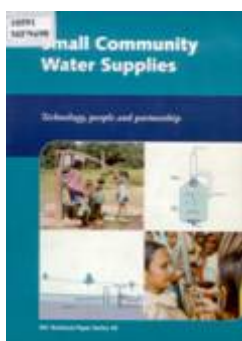
Tratamento de Águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas (1999)
Prosab, ISBN 858-6552-69-0

El libro es el fruto del resultado de la red de investigación formada en el marco del programa de investigación en saneamiento-PROSAB, en torno al tema “eficiencia, limitaciones y aplicabilidad de sistemas de tratamiento de agua no convencionales (filtración lenta, filtración directa ascendente y descendente)” y que fue

coordinado por el Prof. Luiz Di Bernardo de la escuela de ingeniería de San Carlos de la Universidad de Sao Pablo. El libro presenta la Filtración en Múltiples Etapas FIME como una tecnología re-emergente que ya tiene un estatus de tecnología versátil, de costos de implementación compatibles con la realidad nacional, fácil de adaptar a cambios de calidad de agua y de operación y mantenimiento poco especializados. Con excepcional desempeño en la remoción de bacterias y que corresponde a una solución con mayor potencial de beneficios a la salud pública si se compara con los procesos fisicoquímicos convencionales.

Para mayor información consultar la página Web del PROSAB:

<http://www.sanepar.pr.gov.br/prosab>



Small Community Water Supplies: Technology, People and Partnership (2002)

IRC, ISBN 90-6687-035-4

Una edición revisada del libro de 1981 que vincula la ciencia y la tecnología del abastecimiento de agua con las necesidades específicas de las comunidades en los países en desarrollo. El libro es excelente para ingenieros, para el personal involucrado en los programas y proyectos de abastecimiento de agua y para los estudiantes, proporcionando una introducción general a un amplio número de tecnologías. La temática incluye la planeación y la administración, servicios comunitarios de agua en Europa Central y Occidental, calidad y cantidad del agua, administración integrada de las fuentes de agua, recarga artificial, recolección de aguas lluvia, búsqueda de manantiales de agua, bombeo, extracción de aguas subterráneas, manejo de aguas superficiales y pequeñas presas, tratamiento de aguas, transmisión de agua, distribución de agua, tecnologías para la fluoración y para la remoción de arsénico, y abastecimiento de agua en emergencias y desastres.



La Filtración Gruesa en el Tratamiento de Agua de Fuentes Superficiales (1998)

SKAT, ISBN 3-90808001-72-2

Presenta opciones de tratamiento de agua con potencial para ser aplicado en condiciones con limitaciones de infraestructura o de desarrollo industrial. El documento se divide en dos partes. En la primera parte se focaliza en aspectos generales sobre tratamiento de agua y permite al lector obtener una visión de diferentes retos a que se debe enfrentar a partir del momento en que se seleccione una tecnología de tratamiento de agua. En la segunda parte el lector obtendrá una visión comprensiva de los procesos de pretratamiento, aplicada a la separación de material sólido, así como también una descripción detallada sobre la aplicación de esta tecnología



Advances in Slow Sand and Alternative Biological Filtration (1996) John Wiley & Sons Canada Ltd. ISBN 0-471-96740-8)

Este libro compila las contribuciones de la Tercera Conferencia Internacional de Biofiltración Lenta en Arena y Alternativas, que tuvo lugar en Londres y Amsterdam en Abril de 1996. Resalta los últimos desarrollos investigativos en los procesos de filtración lenta y filtración biológica como alternativa para el tratamiento de agua para consumo humano, incluyendo los avances en la comprensión de los mecanismos fundamentales de estos procesos. Son descritos los progresos en la operación y en la modernización de las técnicas usadas en los procesos, y se ilustran con casos de estudio de todo el mundo. Los temas principales del libro son: remoción de material orgánico natural (MON), carbón orgánico biodegradable (COB) y la ozonización; características de los medios de bio-filtración; influencia de las variables del proceso de diseño y las modificaciones; desempeño del proceso de modelación; aplicaciones de pre-tratamiento; experiencias en operación y de limpieza y modernización del proceso de tratamiento.



Slow Sand Filtration: an International Compilation of Recent Scientific and Operational Developments (1994)
American Water Works Association, ISBN 0-89867-754-8

Este manual proporciona a los lectores un resumen comprensivo de las aplicaciones de la filtración lenta en arena como una tecnología moderna para tratamiento de agua de consumo humano. Cubre una variedad de temáticas que no han sido tratadas en trabajos anteriores, incluyendo inquietudes sobre regulación, el papel de los consultores en la formulación de un diseño apropiado para los operadores, la asimilación de las experiencias operativas en la práctica, la descripción de los mecanismos de remoción, una mirada al espectro de técnicas de limpieza y al tema emergente de pre-tratamiento, la cual extiende la aplicación de la filtración lenta en arena a un amplio rango de condiciones del agua.



Slow Sand Filtration (1974)
WHO, ISBN 92-4-1540370

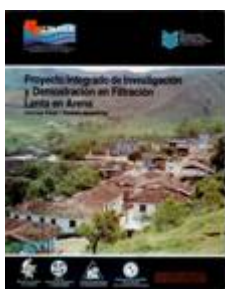
Un trabajo clásico que se enfoca en la FLA como una forma de filtración biológica. Su objetivo es mostrar que la FLA no es solo el más barato y simple, sino también el más eficiente método de tratamiento de agua. Sus ventajas han sido probadas en la práctica durante un larga período de tiempo y continúa siendo el método de tratamiento de agua elegido en ciudades industrializadas, así como en áreas rurales y pequeñas comunidades.



Filtración Lenta en Arena Tratamiento de Agua para Comunidades: Planeación, Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento (1993)

IRC, CINARA, ISBN 90-6687-022-2

Presenta información establecida sobre filtración lenta en arena, así como normas resultantes de proyectos de demostración en países en desarrollo. En el capítulo 2 se presentan los principios básicos del suministro de agua a comunidades y la participación comunitaria, antes de abordar una discusión detallada de la filtración lenta en arena en el capítulo 3. El diseño global del sistema es tratado en el capítulo 4, y los costos de construcción, operación y mantenimiento en el capítulo 5. La información presentada en estos primeros capítulos es ilustrada en el capítulo 6 con un ejemplo de planeación y diseño de un sistema de filtración lenta para una comunidad hipotética. El capítulo 7 presenta información detallada sobre el diseño estructural, el cual es adicionalmente ilustrado con ejemplos de diseño en el capítulo 8. Se debe entender que estos ejemplos están basados en condiciones locales y específicas, y no necesariamente son aplicables bajo otras circunstancias. En el capítulo 9 se presentan normas para la construcción, porque la calidad de la construcción puede ser mejorada sustancialmente en muchos casos. Finalmente, el capítulo 10 esboza los procedimientos detallados para operación y mantenimiento y resalta la importancia de un entrenamiento detallado.



Proyecto Integrado de Investigación y Demostración en Filtración Lenta en Arena, Informe Final (1989)

Univalle-Cinara, IRC.

El documento contiene información sobre este proyecto, el cual tuvo como propósito: capacitar y desarrollar recurso humano; identificar y evaluar factibilidad de alternativas de pretratamiento que posibilitaran el uso de la tecnología con aguas de alto contenido de sólidos; mejorar el diseño de las plantas para facilitar su operación y mantenimiento; desarrollar material didáctico para los operadores; identificar y evaluar equipo simplificado para estudiar el comportamiento de las plantas; estudiar comparativamente los costos de construcción de plantas convencionales con plantas de filtración lenta en arena, con base en la promoción de la tecnología en la zona de ladera del valle geográfico del río Cauca, en Colombia. Presenta una reflexión sobre el alcance y las perspectivas del proyecto a nivel regional, nacional e internacional.

Filtración Lenta en Arena y Pretratamiento: Tecnología para Potabilización de Agua

Describe en forma general las características del proyecto integrado de filtración lenta en arena coordinado por el IRC y presenta los aspectos fundamentales sobre la tecnología FLA, incluyendo los principios del tratamiento, los criterios básicos de diseño, características de los diferentes componentes del sistema, formas y materiales de construcción, consideraciones sobre costos. Finalmente se incluyen aspectos inherentes a sistemas de pretratamiento en

medios gruesos, mediante los cuales se han podido obviar las limitaciones al uso de la tecnología de FLA cuando las turbiedades del agua cruda presentan valores relativamente altos.



Recent Progress in Slow Sand and Alternative Biofiltration Processes (2006)

Este documento muestra el estado del arte para una variedad de sistemas de bio-filtración que han sido estudiados alrededor del mundo. Los autores colectivamente representan una perspectiva de 23 países, e incluyen académicos, usuarios de los sistemas de biofiltración, diseñadores y constructores.

Proporciona una perspectiva actualizada de los factores físicos, químicos, biológicos, y operacionales que afectan el desempeño de la filtración lenta con arena (FLA), la filtración en lecho de río (FLR), tratamiento de acuíferos a través de suelo (TAS) y el proceso biológico del carbón activado. Los temas principales son: perspectivas generales de los sistemas de bio-filtración y su comparación; comportamiento del proceso de filtración lenta en arena, desempeño del tratamiento y desarrollos, comportamiento de los procesos alternativos de bio-filtración, desempeño del tratamiento y desarrollos del proceso.

8.2 Sitios Web

Sociedad Americana de Ingenieros Civiles ASCE's

<http://www.asce.org/>

El propósito fundamental de la ASCE's es promover el avance del arte, la ciencia y la profesión de la ingeniería para mejorar el bienestar de la humanidad. Es posible obtener información específica acerca del mejoramiento de la calidad del agua por filtración lenta en arena a través de la herramienta de búsqueda usando "filtración lenta en arena" como palabra clave.

Resúmenes y artículos están disponibles. El sitio web incluye las experiencias y la aplicación de la filtración lenta en arena para el tratamiento de aguas residuales, así como oportunidades de entrenamiento en este tema.

Organización Bio-filtros en arena

<http://www.biosandfilter.org/biosandfilter/index.php/item/229>

El sitio incluye un resumen de las diferencias entre filtración rápida en arena y filtración lenta, dado que sus procesos y aplicaciones son diferentes. Se explican también las diferencias entre los filtros de arena operados continuamente y los operados intermitentemente (usados a menudo en los programas humanitarios).

La organización de bio-filtros de arena ha compilado información detallada acerca del proceso de FLA, incluyendo una perspectiva profunda acerca de las tasas de flujo y de los procesos físico-mecánicos involucrados. Se explican los diferentes medios de filtración que pueden ser usados. La información técnica acerca de FLA, con artículos disponibles para descargar.

CEPIS – Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales

<http://www.cepis.ops-oms.org>

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, CEPIS, es el centro especialista en tecnología ambiental de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) que es la oficina regional de la Organización Mundial para la Salud (OMS) para las Américas. CEPIS es parte de la división de salud y ambiente de la OPS, y desarrolla actividades de soporte a las oficinas representativas de la OPS y la OMS en cada país.

La misión de la CEPIS\OPS es cooperar con los países de Las Américas para controlar los factores de riesgo relacionados con las deficiencias o con la ausencia de saneamiento ambiental básico que, directa o indirectamente, afecte la salud de las poblaciones.

Email: cepis@cepis.ops-oms.org

Centro para la Ingeniería de la salud ambiental de la Universidad de Surrey (CEHE)

<http://www.surrey.ac.uk/CEHE/>

El centro para la Ingeniería de la salud ambiental de la Universidad de Surrey (CEHE) es un centro de investigación que cuenta con expertos internacionales y con proyectos que cubren por completo el ciclo del agua. Esto comprende la vigilancia de los recursos acuíferos, modelación y administración, tratamiento de agua, abastecimiento y regulación, tratamiento de aguas residuales, disposición y re-utilización segura, control de la contaminación y administración de los residuos. El CEHE es un centro diseñado para colaborar con la Organización Mundial de la Salud (OMS) en la protección de la calidad del agua y de la salud humana.

Uno de los temas principales de investigación es el tratamiento de agua. El profesor Barry Lloyd colaboró en el desarrollo de la tecnología de filtración en múltiples etapas como consejero de CINARA, y como supervisor para estudiantes de Maestría y Doctorado.

Instituto Cinara de la Universidad del Valle

<http://cinara.univalle.edu.co>

Cinara, es un instituto de investigación y desarrollo de abastecimiento de agua, saneamiento ambiental y gestión integrada de los recursos Hídricos, del a facultad de ingenierías del a Universidad del Valle en Cali, Colombia. El Cinara ha desarrollado la tecnología de filtración en múltiples etapas desde 1980, usando un enfoque inter-institucional y multidisciplinario que tiene en cuenta la participación de la comunidad y los asuntos de género, con el fin de mejorar la calidad del agua para el consumo humano y otras aplicaciones. Los recursos del Cinara (que incluyen dos estaciones de investigación

en agua potable y aguas residuales, una unidad de documentación, aulas adecuadas para cursos, un auditorio, red de información y laboratorios fisicoquímicos y microbiológicos) permiten al instituto adelantar la investigación, el entrenamiento y la transferencia de tecnología. Cerca de diez proyectos a escala real están funcionando cerca de Cali. Estos “proyectos de enseñanza y aprendizaje” tratan diferentes calidades de agua y son operados por organizaciones comunitarias. Cinara ha documentado su experiencia con FiME a través de libros, manuales, videos, CDs, cursos cortos, conferencias, artículos y cursos formales ofrecidos a nivel de pre y pos-grado.

Imperial College

http://www3.imperial.ac.uk/portal/page?_pageid=102,1&_dad=portallive&_schema=PORTALLIVE

La división de Ingeniería Civil y Medioambiental ha adelantado investigaciones de alto nivel en filtración en múltiples etapas. Los estudios sobre FiME, los investigadores, publicaciones, cursos cortos y programas de pos-grado se pueden encontrar en:

<http://www.cv.ic.ac.uk/discover/>

IRC Centro Internacional de Agua y Saneamiento

<http://www.irc.nl/>

El IRC es una organización basada en el conocimiento que es sensible respecto a las necesidades de agua y saneamiento básico de los países en desarrollo y en transición. El IRC ha apoyado y asesorado diferentes estudios y programas de desarrollo en filtración lenta con arena en Asia, África y Suramérica. La tecnología FiME ha evolucionado de la combinación entre las tecnologías de filtración lenta y Filtración en grava.

Durante los años 90, el IRC y el Cinara adelantaron proyectos de transferencia de tecnología enfocados en filtración en múltiples etapas en ocho regiones en Colombia. Cinara e IRC apoyadas por organizaciones nacionales e internacionales, estudiaron la filtración en grava como una etapa de pre-tratamiento para aguas crudas superficiales, a escala piloto y con modelos a escala real.

Se pueden descargar artículos, publicaciones y noticias. Existen varias publicaciones y reportes sobre la tecnología FiME. Para efectuar la búsqueda utilice las siguientes palabras clave: “*Filtración en múltiples etapas*” y “filtración lenta en arena”

Centro de aguas, Ingeniería y desarrollo (WEDC) de la Universidad de Loughborough

<http://wedc.lboro.ac.uk>

Una de las instituciones líderes a escala mundial de educación, entrenamiento, investigación y consultoría relacionada con la planeación, suministro, y administración de la infraestructura para el desarrollo.

En la página web están disponibles artículos en PDF. Se presentan varios reportes de tesis y experiencias de la aplicación de FiME en África y Pakistán, las cuales se pueden

hallar usando las palabras clave en la búsqueda: “*Filtración en múltiples etapas*” y “filtración lenta en arena”. También se puede revisar el catálogo de publicaciones.

Agencia de protección ambiental de Estados Unidos, EPA

<http://www.epa.gov/safewater/regs/swtrsms.pdf>

La enmienda de 1996 SDWA contiene disposiciones respecto a los sistemas de agua y saneamiento que atienden a menos de 10,000 personas, reconociendo sus diferencias en costos, tecnología, capacidad, y características de riesgo. Una de las áreas del proyecto después de la enmienda de 1996 incluye la creación de una lista de tecnologías de tratamiento de agua que esos sistemas pueden usar cumpliendo con las regulaciones del estado. En esta lista, la EPA sugiere que la FiR solo debe ser usada en aquellos sistemas que cuentan con un operador capacitado de tiempo completo y considera que la FLA puede ser el sistema de filtración más apropiado para pequeños y medianos sistemas cuando usan fuentes de agua de una calidad apropiada (EPA, 1998). Palabras clave de búsqueda: filtración lenta en arena.

8.3 Cursos de capacitación

Programa de Postgrado en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Universidad del Valle, Colombia

Desde septiembre de 1993, la Universidad del Valle ofrece un programa de postgrado en ingeniería sanitaria y ambiental. La especialización tiene una duración aproximada de un año. Para la maestría se requiere desarrollar un trabajo de investigación en un período adicional de 6 a 8 meses.

El objetivo del programa es avanzar en la formación integral del participante y desarrollar en él/ella competencias a nivel de educación avanzada, que le permitan desempeñar una función social significativa en la gestión del ambiente, mediante la profundización del conocimiento, la investigación en campos específicos de la ingeniería sanitaria y ambiental y de la participación en la toma de decisiones que afectan el entorno local, nacional o regional, de acuerdo con su ámbito de acción.

Información adicional

Universidad del Valle, Sede Meléndez, Edificio 341 1er Piso

A.A. 25157 Cali, Colombia

Sur América. Telefax: (57 – 2) 3302002

E-mail: pisa-uv@mafalda.univalle.edu.co

Programa de Postgrado de Ingeniería Hidráulica y Saneamiento. Escuela de Ingeniería de São Carlos, Brasil

El programa de postgrado en el área de ingeniería hidráulica y saneamiento de la Escuela de Ingeniería de São Carlos ha sido el primero en el sentido de adecuar y enseñar sobre el tema de los recursos hídricos.

El objetivo es propiciar el conocimiento de las relaciones entre el hombre y el ambiente, principalmente el acuático, para que sea posible planificar sus acciones en el ambiente.

Para mayor información, consultar:

<http://www.shs.eesc.sc.usp.br/ensino/posgraduacao/default.htm>

Programa de Maestría en Infraestructura Urbana y Abastecimiento de Agua. Instituto UNESCO–IHE, Países Bajos

El programa en infraestructura urbana desea formar y capacitar profesionales en el campo de abastecimiento de agua, saneamiento, ingeniería integral en infraestructura urbana y compañías de servicios de agua. El programa está dirigido principalmente a ingenieros civiles y sanitarios que trabajan en abastecimiento de agua y compañías municipales o privadas que trabajan en el abastecimiento y remoción de aguas residuales, consejos municipales, ministerios gubernamentales y consultores. Incluye cursos cortos de tecnologías de abastecimiento de agua de bajo costo y tecnologías apropiadas para países en desarrollo. Para mayor información, consultar: www.ihe.nl

CINARA - Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable Saneamiento Ambiental y Gestión Integral del Recurso Hídrico. Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle.

Ofrece regularmente el curso taller sobre Planeación y Diseño de Sistemas de Tratamiento por Filtración en Múltiples Etapas

Este curso está dirigido a las empresas prestadoras de servicios en los municipios y comunidades, profesionales de ingeniería sanitaria y/o civil y consultores. Comprende el desarrollo de temas relacionados con planeación, diseño, operación y mantenimiento y análisis y selección de alternativas de tratamiento por filtración en múltiples etapas. Incluye conceptos en múltiples barreras de tratamiento para disminuir el riesgo sanitario en la potabilización del agua, la sostenibilidad de los sistemas de abastecimiento de agua en especial en áreas rurales y peri urbanas de países en desarrollo.

El evento tiene una duración de quince días y capacidad para 20 personas, incluye trabajo de campo. Contacto: Ing. Luis Darío Sánchez MSc. – luisanc@univalle.edu.co

8.4 Herramientas



Software SelTec: selección de tecnología en tratamiento de agua para consumo humano (2000)

Ministerio de Vivienda y Medioambiente – Instituto Cinara, Universidad del Valle

El modelo de selección de tecnología de un sistema de tratamiento de agua facilita esta elección para las comunidades rurales, para los pequeños y medianos municipios y para los asentamientos periféricos de la ciudad con una población de entre 500 y 30,000 habitantes. El modelo toma en cuenta los aspectos socioculturales, institucionales, tecnológicos y financieros (Galvis, 2000).

El software SelTec tiene los siguientes objetivos:

- Seleccionar alternativas tecnológicas sostenibles para producir agua potable, cuando no existe una tecnología en el sitio.
- Evaluar la sostenibilidad de una planta existente en la localidad.
- Estimar los costos de inversión, administración, operación y mantenimiento, para cada una de las opciones tecnológicas consideradas en el modelo de selección (Vargas, 2000).

Este software fue desarrollado como parte de “Selección de la tecnología y análisis de los costos en los sistemas de purificación de agua”, proyecto adelantado por Cinara para el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, que es el responsable de la planeación de este sector en Colombia.

Para más información, contacte a: MAVDT, <http://www.minambiente.gov.co>
Alberto Galvis MSc, Cinara – Universidad del Valle. algalvis@univalle.edu.co



CD ROM: Filtración en Múltiples Etapas, FiME

Univalle, CINARA

Es un recurso multimedia de apoyo desarrollado como una contribución a la transferencia de la tecnología FiME y a su proceso de socialización. Utiliza un lenguaje sencillo, y combina videos, voces grabadas, lecturas y animaciones para explicar cómo funciona la tecnología, además proporciona la documentación y muestra el proceso de toma de decisiones por parte de los profesionales y el personal técnico del área de agua y saneamiento básico. Es una herramienta valiosa para seminarios a nivel de Maestría y pregrado, y para las comunidades quienes pueden conocer acerca del mejoramiento de la calidad del agua para el consumo humano.

Para más información, contacte a:

Luis Darío Sánchez MSc, Cinara – Universidad del Valle. luisanc@univalle.edu.co



Video: Proyecto de Aprendizaje en Equipo, PAEs (1998)

Univalle, CINARA

En sus 15 años de experiencia en proyectos de investigación y desarrollo sobre agua, saneamiento, y conservación de los recursos hídricos, Cinara desarrolló una metodología que ha sido denominada Proyectos de Aprendizaje en Equipo (PAEs). La metodología de los PAEs contribuye a la sostenibilidad de las inversiones en abastecimiento de aguas hechas por el gobierno y por la comunidad. Los PAEs están inspirados por el concepto de desarrollo humano sostenible, donde los profesionales de diferentes disciplinas e instituciones asesoran a las comunidades en la resolución de sus conflictos y les ayudan a comprender que el “auto-descubrimiento” es una de las mejores maneras de aprender. La metodología requiere la participación activa y creativa de los miembros de la comunidad y de sus líderes, y su participación en todas las fases del ciclo del proyecto.



Videos: Filtración en Múltiples Etapas (1998)

Univalle, CINARA

- Planeación y Diseño de Sistemas de Tratamiento de Agua por Filtración en Múltiples Etapas, FiME
- Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Agua por Filtración en Múltiples Etapas, FiME



Disponibles en español

La FiME es una tecnología asequible y amigable ambientalmente para el tratamiento de agua con fines de consumo humano, que puede ser operada y mantenida por comunidades con bajos niveles de escolaridad y buena capacidad administrativa.

El grupo de trabajo conformado por las comunidades, líderes, instituciones gubernamentales y las ONG's, en coordinación con el Cinara y el IRC, han implementado un proceso de investigación, de desarrollo y transferencia de la tecnología FiME a través de estudios piloto en la estación de Puerto Mallarino y con plantas a escala real en diferentes regiones de Colombia.

Estos dos videos han sido usados como una herramienta de apoyo a la comunidad, fortaleciendo los procesos de capacitación, durante los seminarios y talleres ofrecidos por

el Cinara y la Universidad del Valle, para facilitar y apoyar los procesos de transferencia de tecnología en Colombia y Latinoamérica.

8.5 Contactos

En orden alfabético:

COLLINS, Robin

PhD

A115A Kingsbury Hall

Departamento de Ingeniería Civil, UNH

Estados Unidos

Email: robin.collins@unh.edu

DI BERNARDO, Luis

Profesor

Escuela de Ingeniería de São Carlos

Universidad de São Paulo

Brasil

Email: bernardo@sc.usp.br

FERNANDEZ, Javier

Ingeniero, MSc

Profesor e investigador, Universidad del Cauca, Popayán

Colombia

Email: jafernan2@hotmail.com

GALVIS, Gerardo

Ingeniero, MSc, PhD

Consejero regional para la promoción del agua de calidad y de la higiene

Costa Rica

Email: galvisge@cor.ops-oms.org

GRAHAM, N.J.D

Profesor

Sección de Ingeniería de recursos ambientales y acuíferos, Imperial College

Reino Unido

Email: n.graham@imperial.ac.uk

<http://ewre-www.cv.ic.ac.uk/staff/graham/default.htm>

LATORRE, M. J.

Ingeniero, MSc

Profesor e Investigador, Instituto Cinara, Universidad del Valle, Cali
Colombia

Email: jorgelat@univalle.edu.co

LLOYD, Barry John

Profesor de salud medioambiental e Ingeniería, Universidad de Surrey
BSc, MPhil, PhD, MIAWQ

Director, CEHE

Reino Unido

Email: b.lloyd@surrey.ac.uk

LOGSDON, G.S.

D.Sc, P.E., DEE

Departamento de Ingeniería Civil, Ambiental y Arquitectónica

Departamento de salud y medioambiente de Kansas

USA

Email: academy@aeee.net

SANCHEZ, Luís Darío

Ingeniero MSc

Coordinador del grupo de investigación en abastecimiento de agua, Instituto Cinara –
Universidad del Valle, Cali

Colombia

Email: luisanc@univalle.edu.co

VISSCHER, J.T

Ingeniero, PhD.

IRC Centro Internacional de agua y saneamiento

Holanda

Email: visscher@irc.nl

8.6 Eventos

Eventos pasados

Agua 96

Seminario Internacional en mejoramiento de la calidad del agua

Cali-Colombia

Se presentaron artículos sobre opciones de pre-tratamiento, FLA y FiME.

Contacto: Luz Edith Guiral

Email: luzguira@univalle.edu.co

3er Congreso Mundial del Agua

Tratamiento de agua para el consumo humano (Actas seleccionadas del 3er congreso mundial de la asociación internacional del agua)
Melbourne, Australia, 7-12 Abril 2002

Octavo Congreso Mundial de Filtración

Federación Europea de Ingeniería Química Evento No 607
The Brighton Centre, Brighton, UK
3-7 Abril 2000
Website: <http://www.iwaponline.com/ws/00205/05/default.htm>

Sistemas Pequeños de Agua y de Aguas Residuales

Fremantle (Perth), Australia
11- 13 Febrero 2004

La conferencia se enfocó en el diseño, operación, mantenimiento y administración de pequeñas unidades de tratamiento. Las innovaciones en este campo, los casos de estudio y los sistemas seguros y confiables, la eliminación de los nutrientes, la reutilización del agua y los métodos para las operaciones desatendidas, fueron discutidas en la conferencia. El abastecimiento de agua, y el tratamiento de las aguas residuales para una casa individual o para condominios, fue también discutido.

Organizador: La asociación internacional del agua y la asociación australiana del agua
Contacto: Dr Kuruvilla Mathew
Email: K.Mathew@murdoch.edu.au
Website: <http://www.etc.murdoch.edu.au/pages/conf/water04.html>

Novena Conferencia Internacional en Tecnología de Aguas

Sharm El-Sheikh, Sinai, Egipto
17- 20 Marzo del 2005

El objetivo de la conferencia fue reunir expertos, investigadores, y tomadores de decisiones con el fin de discutir todas las temáticas relacionadas con el agua, desde su administración hasta el tratamiento de agua de consumo, el tratamiento de aguas residuales y la desalinización.

Organizador: Universidad de Mansoura, Ministerio Egipcio de recursos acuíferos e irrigación, la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (sección egipcia) y la Asociación Egipcia de Tecnologías del Agua (AETA).

Contacto: Magdy Abou Rayan
Email: mrayan@globalnet.com.eg
Website: <http://www.iwtc.tk>

Tercera Conferencia de Tecnologías de Punta en el Tratamiento de Agua de Consumo y de Aguas Residuales

Fecha: 6 – 8 de Junio de 2005

Lugar: Sapporo, Japón

Idioma: Inglés

Organizador: Organización Internacional del Agua - IWA

Contacto: Noirin Casey

Teléfono: (+ 44 0 207) 654 5518

Fax: (+ 44 0 207) 7654 5555

Email: let2004@iwahq.org.uk

Website: <http://www.iwahq.org.uk/template.cfm?name=sg17>

<http://www.let2004.com/templates/Conferences/LET/let.aspx?ObjectId=104>

La Conferencia Anual de Tecnologías de Punta en el Tratamiento de Agua de Consumo y de Aguas Residuales se enfoca específicamente en el progreso y el desarrollo de tecnologías de tratamiento de aguas residuales. Para mantener el programa y enfocarse en las discusiones significativas, la conferencia consiste de solo dos sesiones paralelas: una para agua de consumo humano y otra para aguas residuales. Varios seminarios tienen lugar en la tarde del día final.

Los temas de agua para Consumo Humano son: sistemas de membrana para agua de consumo humano; tecnologías de desalinización; remoción natural de materia orgánica; avances en la desinfección; nuevos absorbentes, procesos de absorción y tecnologías de tratamiento innovadoras.

OMS/NHMRC/IWA Manejo de agua segura para consumo humano

Calidad en las pequeñas comunidades

Alice Springs, Australia

18 – 22 Julio de 2005

Contacto: Philip Callan

Email: Philip.callan@nhmrc.gov.au

Tecnología 2005

Segunda Conferencia para el Manejo Sostenible de Sistemas de Agua con Calidad para el siglo XXI

San Francisco, California, USA – Hotel Palace

28–31 Agosto de 2005

Patrocinado por: La Federación Ambiental del Agua (FAA); Asociación Europea del Agua (AEA); Asociación Japonesa de Trabajos en Aguas Residuales (AJTAR); y la Asociación Ambiental de California para el Agua (AACAA).

En esta conferencia, ingenieros líderes y científicos de todo el mundo intercambian los últimos hallazgos y los casos de estudio exitosos resaltando las nuevas tecnologías,

nuevas aplicaciones de las tecnologías convencionales, y soluciones innovadoras para los retos operacionales y para los nuevos desafíos.

El enfoque de la conferencia incluye:

- Tecnologías para ser usadas en zonas rurales y países en desarrollo;
- Tecnologías emergentes y estudios de investigación;
- Diseño de plantas, sistemas hidráulicos y de construcción;
- Rehabilitación y ampliación de las instalaciones;
- Problemas de patógenos y tecnologías de desinfección;
- Tratamiento de aguas residuales, incluyendo sistemas aeróbicos y anaeróbicos.

Federación Ambiental del Agua

601 Wythe Street, Alexandria, VA, 22314-1994 USA

Tel: 1-800-666-0206 (Estados Unidos y Canadá)

Tel: 1-703-684-2452 (Estados Unidos y Canadá)

Fax: 1-703-684-2492

Website: http://www.wef.org/conferences/Wastewater_Technology2005.jhtml

Agua 2005

31 de Octubre – 4 Noviembre /05

Seminario Internacional – Visión Integral para el Mejoramiento de la Calidad del Agua

Organizado por: Universidad del Valle – Instituto Cinara, PAHO, CEPIS

Contacto: Luis Dario Sanchez MSc/PhD. Janeth Sanabria

Email: luisanc@univalle.edu.co , agua2005@univalle.edu.co

Website: <http://cinara.univalle.edu.co>

Conferencia y Exposición de Tecnologías para Calidad de Agua (WQTC)

Quebec City, Quebec, Canada

6 – 10 de Noviembre de 2005

El evento congrega 1,500 líderes y expertos en calidad del agua cada año, con el fin de intercambiar los últimos avances e información técnica. El programa técnico desarrolla temáticas que cubren todos los aspectos de la calidad del agua y la tecnología involucrada, incluyendo las técnicas de seguimiento, los procesos de tratamiento, coagulación y filtración, contaminantes orgánicos e inorgánicos y calidad en sistemas de distribución de agua.

Organizador: American Water Works Association, AWWA

Contacto: David Talley

Email: dtalley@awwa.org

Website: <http://www.awwa.org/conferences/wqtc/>

Pequeñas plantas de tratamiento de aguas y aguas residuales

Mérida, México

26 – 1 Marzo de 2006.

Contacto: Simón González

Email: gonmar@servidor.unam.mx

Conferencia Internacional sobre Filtración Lenta en Arena y Alternativas de Procesos de Biofiltración.

Mulheim, Germany

3 – 5 Mayo de 2006

Contacto: Nigel Graham

Email: n.graham@imperial.ac.uk

Tecnología para el Abastecimiento de Agua

Yokohama, Japón

22 – 24 Noviembre de 2006

Contacto: Takahiro Tachi

Email: tachi@jwrc-net.or.jp

Referencias

Amirtharajah, A. (1988). 'Some theoretical and conceptual views of filtration', in: *Journal of the American Water Works Association*, vol. 80, no. 12, p. 36-46.

Baker, M.N. (1981). *The quest for pure water: the history of water purification from the earliest records to the twentieth century*, Vol. I., 2nd ed., Denver, CO, USA, American Water Works Association.

Bellamy, W.D.; Hendricks, D.W. and Logsdon, G.S. (1985). 'Slow sand filtration: influences of some selected process variables', in: *Journal American Water Works Association*, Vol.77, No.2, p. 62-66.

CEHE (1999). *Development and integration of small scale multi-stage treatment for drinking water*, Draft, Guildford, UK, Centre for Environmental Health Engineering (CEHE), p. 1-142.

Cleasby, J.L., Hilmoe, D.J., Dimitracopoulus, C.J. and Diaz-Bassio, L.M. (1984). 'Slow sand and direct in-line filtration and surface water', in: *Journal of the American Water Works Association*, vol.76, No. 12, p. 44.

Collins, M.R. et al. (1985). 'Removal of organic matter in water treatment', in: *Journal of Environmental Engineering*, vol. 111, no. 6.

Collins, M.R.; Eighmy, I.T. and Malley, J.P. (1991). 'Evaluating modifications to slow sand filters', in: *Journal of the American Water Works Association*, vol. 83, no. 9, p. 62-68.

Collins, M.R. and Graham, M.J.D. (1994). *Slow sand filtration: an international compilation of recent scientific and operational developments*, Denver, CO, USA, American Water Works Association.

Craun, G.F. et al. (1994). 'Balancing chemical and microbial risk of drinking water disinfection. Part I. Benefits and potential risks', in: *Aqua: Journal of Water Supply Research and Technology*, vol. 43, no. 4, p. 192-199.

Craun, G.F. et al. (1994). 'Balancing chemical and microbial risk of drinking water disinfection. Part II. Managing the risks', in: *Aqua: Journal of Water Supply Research and Technology*, vol. 43, no. 5, p. 207-218.

Ellis, K.V. (1985). 'Slow sand filtration', in: *CRC Critical Reviews in Environmental Control*, vol. 15, no. 4, p. 315-354.

Fox, K.R. et al. (1984). 'Pilot-plant studies of slow rate filtration', in: *Journal of the American Water Works Association*, vol. 76, no.12, p. 62-68.

Galvis, G. (1999). Development and evaluation of multistage filtration plants; an innovative, robust and efficient water treatment technology. Guilford, UK, CEHE, University of Surrey

Galvis, G., Latorre, J. and Visscher, J.T. (1998). *Multi-stage filtration: an innovative water treatment technology* (Technical paper series; no. 34-E), The Hague, The Netherlands, IRC International Water and Sanitation Centre.

Graham, N.J.D. and Collins, M.R. (1996). *Advances in slow sand and alternative biological filtration*. Chichester, UK, John Wiley.

Hudson, H.E. (1981). *Water clarification processes: practical design and evaluation*, New York, NY, USA, Van Nostrand Reinhold.

Huisman, L. and Wood, W.E. (1974). *Slow sand filtration*, Geneva, Switzerland, World Health Organization.

Ives, K.J. (1957). 'Algae and water supplies: physical removal of algae', in: *Water Engineering*, vol. 61, p. 432.

Joshi, N.S. et al. (1982). 'Water quality changes during slow sand filtration', in: *Indian Journal of Environmental Health*, vol. 24, no. 4, p. 261-266.

Logsdon, G.S. (1991). *Slow sand filtration*. New York, NY, USA: American Society of Civil Engineers.

Pardón, M. (1989). *Treatment of turbid surface water for small community supplies, Report*, Guildford, UK, University of Surrey, PhD Thesis.

Shulz, R.C. and Okun, D.A. (1992). *Surface water treatment for communities in developing countries*, (Wiley-Interscience) New York, NY, USA, Wiley, London, UK, ITDG Publishing.

Slezak, L.A. and Sims, R.C. (1984). 'The application and effectiveness of slow sand filtration in the United States', in: *Journal of the American Water Works Association*, vol. 76, no. 12, p. 38-43.

Smet, J.E.M. and Visscher, J.T. (1989). *Pre-treatment methods for community water supply: an overview of techniques and present experience*, The Hague, The Netherlands, IRC International Water and Sanitation Centre.

Sundaresan, B.B.; Paramasivam, R. (1982). *Slow sand filtration: research and demonstration project - India: Final report*, Nagpur, India, National Environmental Engineering Research Institute.

Visscher, J.T., Paramasivam, R., Raman, A., Heijnen, H.A. (1987). *Slow sand filtration for community water supply: planning, design, construction, operation and maintenance* (Technical paper series; no. 24), The Hague, The Netherlands, IRC International Water and Sanitation Centre.

Visscher, J.T. (2006). *Facilitating Community Water Supply Treatment, From technology transfer to multi-stakeholder learning*, Delft, The Netherlands, IRC International Water and Sanitation Centre (In preparation).

Wegelin, M. (1996). *Surface water treatment by roughing filters: a design, construction and operation manual* (SANDEC report; no. 2/96), St. Gallen, Switzerland, SKAT (Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management).

Wegelin, M., Boller, M. and Schertenleib, R. (1986). 'Particle removal by horizontal-flow roughing filtration', in: *Aqua: Journal of Water Supply Research and Technology*, vol. 35, no. 3, p. 115-125.

WHO (2006). *Guidelines for drinking water quality*. First addendum to third edition. Vol 1. Recommendations. Geneva, Switzerland. Available from: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/gdwq0506.pdf

WHO (2000). *Global Water Supply and Sanitation Assessment*. Geneva, Switzerland, World Health Organization.

Yao, K.M., Habibian, M.T. and O'Melia, C.R. (1971). 'Water and wastewater filtration: concepts and applications', in: *Environmental Science and Technology*, p. 1105.

Acerca del IRC

El IRC facilita la transferencia, la promoción y el uso del conocimiento entre los gobiernos, los profesionales y las organizaciones que pueden ofrecer apoyo a hombres, mujeres y niños pobres en los países en desarrollo, con el fin de que obtengan agua de calidad y servicios sanitarios sostenibles. Esta tarea se efectúa a través del mejoramiento de la información y el conocimiento en el sector y el fortalecimiento de los centros de recursos en el Sur.

Como una fuente de información de calidad, el IRC posee una Unidad de Documentación y un sitio web con un servicio semanal de noticias, además elabora publicaciones en Inglés, Francés, Español y Portugués, tanto en formatos impresos como electrónicos. También ofrece capacitación y actividades de aprendizaje basadas en la experiencia, servicios de consultoría y evaluación, investigación aplicada y proyectos de aprendizaje en Asia, África y América Latina; y conduce actividades generales para el sector. Los temas incluyen la administración comunitaria, género y equidad, desarrollo institucional, administración integrada de los recursos de agua, saneamiento escolar, y promoción de la higiene.

El personal del IRC trabaja como facilitadores en la tarea de ayudar a las personas a tomar sus propias decisiones; con socios de sectores profesionales en el Sur; estimulan diálogos entre todas las partes para crear confianza y promover el cambio; y generar un ambiente de aprendizaje para el mejor desarrollo de alternativas.

IRC Centro Internacional de Agua y Saneamiento

P.O. Box 2869

2601 CW Delft

Holanda

Tel. +31 (0)15 219 29 39

Fax. +31 (0)15 219 09 55

E-mail: general@irc.nl

Internet <http://www.irc.nl>

Acerca de CINARA

CINARA (Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico) es un Instituto de la Universidad del Valle dedicado a la investigación, el desarrollo y la transferencia de tecnologías y metodologías en el sector de agua y saneamiento ambiental. Se enfoca en las áreas rurales, en los municipios pequeños y medianos, y en zonas urbanas de bajos ingresos que enfrentan problemas importantes en el abastecimiento de agua, calidad de agua, uso eficiente de agua, saneamiento Ambiental y gestión integral de los recursos hídricos.

El personal del CINARA incluye profesionales con perfiles técnicos, sociales, económicos y de administración, quienes pueden desempeñarse como consultores externos en áreas especializadas y trabajar como un equipo interdisciplinario, complementando su conocimiento y experiencia. Este equipo cumple la función de iniciar y facilitar el proceso, trabajando conjuntamente con instituciones y comunidades para mejorar las condiciones sanitarias, proteger y conservar los recursos de agua, siendo un elemento crucial en el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades.

El CINARA interactúa y recibe apoyo de una red de socios nacionales e internacionales de países como Holanda, Gran Bretaña, Suiza y Brasil, los que han permitido expandir su trabajo de apoyo a numerosas regiones de Colombia y de otros países como Bolivia, Ecuador, Honduras, Guatemala, Nicaragua y Pakistán, manteniendo la premisa de que el desarrollo está enfocado hacia la gente, haciendo a las comunidades generadoras de su propio desarrollo.

Instituto Cinara - Facultad de Ingeniería
Calle 13 No 100-00
Apartado Aéreo 25157
Universidad del Valle
Cali, Colombia
Tel: + 57 2 3392345-3212290-3396096
Fax: + 57 2 3393289
E-mail: cinarauv@univalle.edu.co
Internet: <http://cinara.univalle.edu.co/>



IRC International Water and Sanitation Centre
P.O. Box 2869
2601 CW Delft
The Netherlands

Telephone: +31 (0)15 2192939 Fax: +31 (0)15 2190955
E-mail: general@irc.nl Website: <http://www.irc.nl>