

**DISEÑO Y MONTAJE DEL LABORATORIO DE FILTRO LENTO DE ARENA
PARA AGUA POTABLE**

**DANIEL FERNANDO AGUIAR HERNANDEZ
WILLIAN PORTELA CUEVAS**

**CORPORACION UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
GIRARDOT- 2009 - B**

**DISEÑO Y MONTAJE DEL LABORATORIO DE FILTRO LENTO DE ARENA
PARA AGUA POTABLE**

**DANIEL FERNANDO AGUIAR HERNANDEZ
WILLIAN PORTELA CUEVAS**

Informe final de trabajo de grado para optar al titulo de Ingeniero Civil

**CORPORACION UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
GIRARDOT- 2009 - B**

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION.....	4
1. JUSTIFICACION.....	6
2. OBJETIVOS.....	9
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	9
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	9
3. PROCEDIMIENTOS DE LA FILTRACION LENTA.....	10
4. CARACTERISTICAS GENERALES DEL PROCESO DE FILTRACION LENTA	13
4.1. FUNCIONAMIENTO DEL FILTRO.....	13
4.1.1. Índice de Flujos.....	13
4.1.2. Periodos de Descanso.....	13
4.1.3. Profundidad del Agua.....	14
4.1.4. Calidad del Agua.....	15
4.1.5. Tiempo.....	15
4.2. EFECTIVIDAD DEL FILTRO CON EL PASO DEL TIEMPO.....	16
4.3. VENTAJAS DEL FILTRO DE ARENA.....	17
4.4. LIMITACIONES DEL FILTRO LENTO DE ARENA.....	17
4.5. FUNCIONALIDAD.....	18
4.6. PARTES PRINCIPALES DEL FILTRO DE ARENA.....	19
5. MECANISMOS DE ACCION Y NUMERO DE FUZZAS QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE FILTRACION LENTA COMO MECANISMOS DE REMOCION FISICO- QUMICOS Y BIOLÓGICOS.....	23

5.1.	MECANISMOS DE FILTRACION.....	23
5.2.	MECANISMOS DE TRANSPORTE.....	23
5.3.	FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FILTRACION.....	29
5.3.1	Características de la Filtración.....	30
5.4.	CARACTERISTICAS DEL MEDIO FILTRANTE.....	32
5.5.	CARACTERISTICAS HIDRAULICAS.....	34
6.	MANTENIMIENTO DEL FILTRO LENTO DE ARENA PARA MANTENER SU FUNCIONALIDAD Y ADECUADO PROCESO.....	41
7.	CONCLUSIONES.....	42
8.	RECOMENDACIONES.....	43
	BIBLIOGRAFIA.....	44

INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales fundamentales y hace parte de los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo, junto con el aire, la tierra y la energía. El agua es el compuesto químico más abundante del planeta y resulta indispensable para el desarrollo de la vida. Está formado por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, y su fórmula química es H₂O. En la naturaleza se encuentra en estado sólido, líquido o gaseoso.

El agua pura es un recurso renovable, sin embargo puede llegar a estar tan contaminada por las actividades humanas, que ya no sea útil, sino nociva, de calidad deficiente. La evaluación de la calidad del agua ha tenido un lento desarrollo. Hasta finales del siglo XIX no se reconoció el agua como origen de numerosas enfermedades infecciosas; sin embargo hoy en día, la importancia tanto de la cantidad como de la calidad del agua está fuera de toda duda. La importancia que ha cobrado la calidad del agua ha permitido evidenciar que entre los factores o agentes que causan la contaminación de ella están: agentes patógenos, desechos que requieren oxígeno, sustancias químicas orgánicas e inorgánicas, nutrientes vegetales que ocasionan crecimiento

excesivo de plantas acuáticas, sedimentos o material suspendido, sustancias radioactivas y el calor.

La contaminación del agua es el grado de impurificación, que puede originar efectos adversos a la salud de un número representativo de personas durante períodos previsible de tiempo. Se considera que el agua está contaminada, cuando ya no puede utilizarse para el uso que se le iba a dar, en su estado natural o cuando se ven alteradas sus propiedades químicas, físicas, biológicas y/o su composición. En líneas generales, el agua está contaminada cuando pierde su potabilidad para consumo diario o para su utilización en actividades domésticas, industriales o agrícolas.

Para evitar las consecuencias del uso del agua contaminada se han ideado mecanismos de control temprano de la contaminación. Existen normas que establecen los rangos permisibles de contaminación, que buscan asegurar que el agua que se utiliza no sea dañina. En Colombia se cuenta con el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, el cual se encarga de todo el proceso de regulación y control.

A pesar del control y prevención que se persigue, se reportan aguas contaminadas con coliformes lo que hace que la calidad del agua no sea la deseada, si bien Colombia tiene agua en grandes cantidades, el aumento poblacional, la contaminación de las industrias, el uso excesivo de agroquímicos, la falta de tratamiento de aguas negras y la erosión de suelos por la deforestación hacen que ese recurso sea escaso.

La provisión de agua dulce está disminuyendo a nivel mundial, 1200 millones de habitantes no tienen acceso a una fuente de agua potable segura. Las enfermedades por aguas contaminadas matan más de 4 millones de niños al año y 20% de todas las especies acuáticas de agua fresca están extintas o en peligro de desaparecer.

El proyecto que se pretende acometer, es el de desarrollar un filtro de arena lento, que se emplee como instrumento de práctica de laboratorio en los créditos académicos de Ingeniería Ambiental, Plantas de tratamiento, acueducto y alcantarillado. Este proceso de filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso. En general, la filtración es la operación final de clarificación que se realiza en una planta de tratamiento de agua y, por consiguiente, es la responsable principal de la producción de agua de calidad coincidente con los estándares de potabilidad.

El avance logrado por la técnica de filtración es el resultado de un esfuerzo conjunto dirigido a lograr que la teoría exprese los resultados de las investigaciones experimentales, de tal modo que sea posible prever, en el diseño, cómo va a operar la unidad de filtración en la práctica.

1. JUSTIFICACIÓN

El abastecimiento de agua para el consumo humano es una de las medidas más relevantes destinadas a evitar la propagación de enfermedades, si se tiene en cuenta que el 80 % de todas las enfermedades y más del 33 % de las muertes en los países en desarrollo están relacionadas con la falta de agua en calidad y cantidad adecuadas¹.

Se estima que en el país alrededor del 30 % de los hogares recibe agua no potable o no desinfectada adecuadamente, lo que resulta en una calidad microbiológicamente peligrosa, siendo esta la mayor causa de enfermedad y muerte².

La implementación de tecnologías apropiadas para la purificación del agua, constituye una práctica usual hoy día en los países en desarrollo, entre las cuales se encuentra la filtración del agua a través de dispositivos con medios porosos que permiten obtener un agua efluente con buena calidad físico-química y bacteriológica.

Según la literatura consultada³ en la práctica internacional se conocen dos tipos de filtros a gravedad: el filtro rápido y el filtro lento. También es usual, internacionalmente el empleo de la arena como medio filtrante, aunque en algunas plantas se utiliza antracita finamente picada, como material de filtro.

¹ Leonardo Ramírez Medina, Licenciado en Construcción Civil, Profesor de Hidráulica, Acueducto y Alcantarillado, Centro Politécnico de la Construcción Pedro Téllez Valdés, Pinar del Río. e-mail: unaicpr@mail.upr.edu.cu

² interaccion.cedal.org.co/documentacion.htm

³ Ibid

Los filtros lentos de arena son los tipos de filtros más viejos que se usaron para el abastecimiento público de agua potable, siendo construidos por primera vez en el año 1829 por James Simpson para la compañía de agua Chelsea de Londres.

Se han estado aplicando desde entonces en países en vías de desarrollo, sin embargo, por su eficiencia en la remoción de gérmenes patógenos que son resistentes a la acción bactericida del cloro, como desinfectante más generalizado, han motivado que se despierte nuevamente el interés por el uso de los mismos en países desarrollados.

Una de las primeras técnicas aplicadas para la depuración de las aguas fue la de filtros lentos de arena. Por medio de su utilización, fue posible eliminar impurezas existentes y reducir drásticamente la cantidad de personas padeciendo enfermedades como el cólera. Este principio para el tratamiento de aguas ha sido adaptado para dar soluciones a pequeña escala, y de uso unifamiliar.

De esta forma, aquellas aguas que tengan un aspecto turbio, podrán ser pasadas por materiales filtrantes y lograr mediante ese proceso mejores condiciones. En estos filtros, se desarrollan bacterias colaboradoras útiles para la eliminación de parásitos causantes de enfermedades que podrían tener las aguas turbias a filtrar. Los Filtros de arena lentos son sencillos, fabricados con materiales fácilmente localizables en zonas urbanas y rurales. Es un medio que pretende ayudar a las personas con dificultad para obtener agua potable, en aquellos sitios que por múltiples circunstancias no es fácil preservar la buena calidad de la misma.

La razón fundamental de la desinfección del agua es disminuir el riesgo de infección de las enfermedades transmitidas por el agua mediante la destrucción o inactivación de los diversos organismos patógenos que están o pueden estar presentes en la fuente de agua que las personas utilizan para satisfacer sus necesidades básicas, o que pueden haber conseguido acceso a ésta durante el proceso de transporte o almacenamiento. Cuando se carece de un abastecimiento de agua corriente idóneo y continuo en el hogar, la desinfección domiciliar y el almacenamiento seguro constituyen las barreras más importantes contra las enfermedades transmitidas por el agua.

El proceso de filtración, es la causa por el cual el agua pasa a través de sustancias porosas capaces de retener materias en suspensión. En general este material poroso es arena, por su bajo costo y porque es satisfactoriamente eficiente. Existen dos tipos de filtros de arena; el tipo Lento y el tipo Rápido. Por su parte los filtros rápidos se dividen en dos clases; filtros de superficie libre y el filtro a presión.

La terminología de “lento” y “rápido”, está condicionada con la cantidad de agua filtrada por unidad de superficie y por día. En cuanto a la remoción de bacterias, los filtros lentos trabajan satisfactoriamente en aguas que no tengan más de 10 ppm. de materias en suspensión y 200 bacterias por mililitro. Bajo estas condiciones su eficiencia es de aproximadamente de 96%.

Para las cifras antes citadas, el 4% restante, todavía significa una cantidad apreciable de bacterias, lo que obliga entonces a someter el efluente de estos filtros a otro proceso de desinfección. En el año 1985, el CEPIS efectuó un trabajo de investigación, sobre el "proceso de Filtración lenta utilizando medios gruesos o pre filtros con diámetros que iba de 2" a 1" en un primer filtro y de ½" a ¼" en la tercera. (Rocas de bordes redondeados). Según este trabajo de investigación, en los filtros de grava se forma una capa biológica conocida con el nombre de biofilm ó biopelícula, la cual está constituida por algas filamentosas, diatomeas, protozoarios (amebas, flagelados, ciliados) y bacterias, todas ellas cumpliendo un rol importante en la degradación de la materia orgánica.

En cuanto a la eficiencia de estas unidades, se encontró que en promedio, la remoción en coliformes termo resistentes, fue de 92.4% y en cuanto a partículas de turbiedad del 99%. De esta manera se consiguió que en los filtros lentos se obtuvieran remociones de coliformes totales de hasta 99.98% con contajes de menos de 5 coliformes termo resistentes /100 ml.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y estructurar el Laboratorio de filtro lento de arena para agua potable, con el propósito de Separar partículas y microorganismos que no han sido retenidos en los procesos previos de tratamiento. Mejorando así la eficiencia y reducción de los costos de la desinfección.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar las referencias bibliográficas acerca de la filtración lenta, con el propósito de obtener la información necesaria para determinar los criterios generales de diseño y su status tecnológico.
- Establecer las características generales del proceso, con el fin de analizar y mejorar las condiciones físicas, químicas y bacteriológicas del agua cruda actuando en forma simultánea.
- Determinar los mecanismos de acción y establecer el número de fuerzas que intervienen en el proceso de filtración lenta, como mecanismos de remoción físico-químicos y biológicos.
- Establecer los procedimientos para realizar el mantenimiento del filtro lento de arena, con el propósito de mantener su funcionalidad y adecuado proceso para el cual fue construido.
- Estructurar los pasos para el diseño, construcción y funcionalidad del filtro lento de arena.

3. PROCEDIMIENTOS DE LA FILTRACIÓN LENTA

La filtración del agua para beber en los hogares, a través de filtros de arena, es un método generalmente conocido en la mayoría de los países latinoamericanos. Sin embargo, solamente un número limitado de personas lo

han practicado. La llegada de los suministros por tubería disuadió su uso. Este tipo de filtración no elimina normalmente las bacterias o los virus, pero puede eliminar la turbiedad, los quistes y protozoarios. Cuando se utilizan debidamente, los filtros de arena domésticos pueden funcionar eficazmente aún con agua ligeramente turbia como tratamiento preliminar antes de hervirla o desinfectarla.

El abastecimiento de agua para el consumo humano es una de las medidas más relevantes destinadas a evitar la propagación de enfermedades, si se tiene en cuenta que el 80 % de todas las enfermedades y más del 33 % de las muertes en los países en desarrollo están relacionadas con la falta de agua en calidad y cantidad adecuadas. Según la literatura consultada en la práctica internacional se conocen dos tipos de filtros a gravedad: el filtro rápido y el filtro lento. También es usual, internacionalmente el empleo de la arena como medio filtrante, aunque en algunas plantas se utiliza antracita finamente picada, como material de filtro.

Los filtros lentos de arena son los tipos de filtros más viejos que se usaron para el abastecimiento público de agua potable, siendo construidos por primera vez en el año 1829 por James Simpson para la compañía de agua Chelsea de Londres. El beneficio principal de la filtración lenta por arena se debe a la microbiología del filtro, para que el filtro sea efectivo se debe mantener viva la comunidad microbiana. En un filtro de arena lento convencional, los organismos reciben oxígeno a través del oxígeno disuelto en el agua. En consecuencia, están diseñados para funcionar de manera constante. También, porque el agua circula lentamente, los lechos de los filtros tienden a ser muy grandes.

El filtro de agua bioarena es un invento que modifica los filtros de arena lentos tradicionales, de tal manera que los filtros puedan construirse en menor escala y puedan funcionar intermitentemente. Estas modificaciones hacen que el filtro sea adecuado para uso doméstico o para un grupo pequeño. Esto no sería sencillamente posible con la filtración lenta por arena tradicional debido a las exigencias de tamaño y el modo de funcionamiento. Se vierte un balde de agua contaminada en la parte superior del filtro. El agua circula fácilmente a través del filtro y se recoge en otro balde o recipiente en la base del pico de salida. Por lo general, tarda unos pocos minutos para que el total del balde pase por el filtro. No tienen válvulas ni piezas móviles y el diseño del sistema de salida asegura que, cuando el filtro no está en uso, se mantenga una profundidad mínima de agua de cinco centímetros sobre la arena.

Cuando el agua circula a través del filtro, la capa biológica recibe oxígeno en la parte superior de la arena por medio del oxígeno disuelto en el agua. Durante los tiempos de descanso, cuando el agua no está circulando, el oxígeno se obtiene por la difusión del aire y la mezcla conectiva lenta de la capa de agua sobre la arena. Si esta capa se mantiene poco profunda, el oxígeno necesario

puede pasar a los microorganismos para mantenerlos vivos y, por lo tanto, efectivos. El filtro está constituido por cinco regiones diferentes, el depósito afluyente, el sobrenadante, el "schmutzdecke" (lodo biológico), la zona biológicamente activa y el lecho de arena y subdrenaje, como se muestra seguidamente.

La filtración lenta de arena se ha utilizado exitosamente desde mediados del siglo pasado en el tratamiento de agua para consumo humano, pero principalmente en sistemas colectivos de abastecimiento, es decir, a gran escala. En pequeña escala, a nivel domiciliario la tecnología de filtración lenta también se utiliza, pudiendo eliminar hasta el 99% de las bacterias peligrosas para la salud. Se han estado aplicando desde entonces en países en vías de desarrollo, sin embargo, por su eficiencia en la remoción de gérmenes patógenos que son resistentes a la acción bactericida del cloro, como desinfectante más generalizado, han motivado que se despierte nuevamente el interés por el uso de los mismos en países desarrollados.

La remoción completa asociada a procesos de filtración se lleva a cabo por la combinación de fenómenos diferentes, de los cuales los más importantes son: la filtración mecánica, sedimentación, adsorción, actividad bioquímica y actividad bacteriológica.

La experiencia internacional expresa que en el llamado proceso de filtración lenta, el agua con una velocidad de circulación relativamente baja, es obligada a atravesar una capa de arena en la que se han desarrollado condiciones favorables para una acción biológica. Esta acción actúa a medida que se desarrolla, en torno a las partículas de arena, colonias de organismos microscópicos y algunas bacterias del agua. En su metabolismo estos organismos remueven las impurezas orgánicas y las bacterias patógenas, y oxidan compuestos nitrogenados; el ciclo del nitrógeno se completa hasta la fase de mineralización total de la materia orgánica. El desarrollo de estos organismos responsables de la acción biológica se concreta casi exclusivamente a la superficie de la capa de arena, y alcanza, como máximo una profundidad de 2 a 3 cm formándose una película biológica.

En dicha zona se desarrollan formaciones gelatinosas conocidas como schmutzdecke, que confieren a la capa de arena el poder de retener impurezas finas, como materias coloidales, suspensiones finas y bacterias. La acción biológica se hace verdaderamente efectiva cuando la película alcanza su pleno desenvolvimiento, que, en un filtro nuevo tarda cierto tiempo llamado período de maduración del filtro. Con el tiempo, los intersticios de la capa superficial de la arena se van obstruyendo, y se hace necesaria su renovación para limpieza mediante el raspado de la capa de arena sucia que está encima hasta una profundidad que varía de uno a varios centímetros.

4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROCESO DE FILTRACIÓN LENTA

4.1 FUNCIONAMIENTO DEL FILTRO

4.1.1. Índices de flujos

Los microorganismos están más densamente confinados cerca de la superficie del lecho de arena en el filtro de agua bioarena que en filtro de arena lento que funciona continuamente. Esto es porque en el filtro de agua bioarena, la provisión de oxígeno está limitada por la difusión desde la superficie. Debido a la delgada zona biológica, el tiempo de contacto entre la película biológica y el agua es menor mientras el filtro funciona. Para producir agua de calidad bacteriológica similar a la de un filtro de funcionamiento continuo, se requiere que los índices de filtración sean, por consiguiente, más lentos en un filtro bioarena.

El tamaño de la arena contenida dentro del filtro es lo que controla la cantidad de agua que circula a través del filtro. Si el flujo es muy rápido, la eficacia en la eliminación de bacteria puede disminuir. Si el flujo es muy lento, habrá una cantidad insuficiente de agua tratada, los usuarios se impacientarán y puede ser que usen fuentes de agua contaminadas.

4.1.2. Períodos de descanso

Si el período de descanso se extiende mucho, los microorganismos consumirán, tarde o temprano, todo el sustrato y luego perecerán. Esto producirá una reducción importante de la eficacia de eliminación del filtro.

Sin embargo, los períodos de descanso son también muy importantes, porque permiten que los microorganismos, de la capa biológica, consuman los patógenos contenidos en el agua, por lo tanto, aumentando la conductividad hidráulica del filtro. Existe un aumento exponencial en la conductividad hidráulica del filtro cuando se aumenta la duración de la pausa. Por consiguiente, el filtro es más efectivo y eficaz cuando funciona intermitentemente.

Un período de descanso es necesario para que los microorganismos en la zona biológica consuman los patógenos contenidos en el agua. Mientras son consumidos en la zona biológica, se puede restablecer el flujo a través del filtro. Se pueden aumentar los índices de flujo cuando se aumenta la duración del período de descanso. Sin embargo, si el período de descanso se extiende mucho, los microorganismos consumirán, tarde o temprano, todo el alimento y luego perecerán.

Por consiguiente, el filtro es más efectivo y eficaz cuando funciona intermitente y sistemáticamente. Se sugiere un período de descanso de 6 a 12 horas, con un mínimo de 1 hora y un máximo de 48 horas.

4.1.3. Profundidad del agua

Cambios en la profundidad del agua durante el período de descanso modificarán la profundidad de la zona biológica. Una mayor profundidad de agua producirá una difusión de oxígeno menor y, por lo tanto, una zona biológica más delgada. Con el aumento de la profundidad del agua, la biocapa asciende en el lecho de arena y, por ende, disminuyen la oxidación y el metabolismo. Finalmente, el filtro se convierte en un sistema muerto.

Si la profundidad del agua durante el período de descanso aumenta abruptamente y el nivel de agua es muy profundo para permitir que el oxígeno alcance la capa biológica, toda la zona biológicamente activa se vuelve

anaerobia. El correcto funcionamiento del filtro producirá un nivel de agua constante después de los períodos de descanso.

Cambios en la profundidad del agua por encima de la superficie de la arena modificarán un cambio en la zona biológica interrumpiendo la eficacia del filtro. Una profundidad de agua superior, de 5 a 8 cm, ocasionará una difusión de oxígeno menor y, en consecuencia, una zona biológica más delgada. Una obstrucción en el pico de salida o una cantidad insuficiente de arena puede causar el aumento del nivel de agua. A medida que la profundidad de agua aumenta, la oxidación y el metabolismo de los microorganismos dentro de la zona biológica disminuyen. Finalmente, la capa muere y el filtro pierde su efectividad. El correcto funcionamiento del filtro bioarena necesita un nivel de agua constante de aproximadamente **5 cm (2")** por encima del nivel de arena durante los períodos de descanso.

4.1.4. Calidad del agua

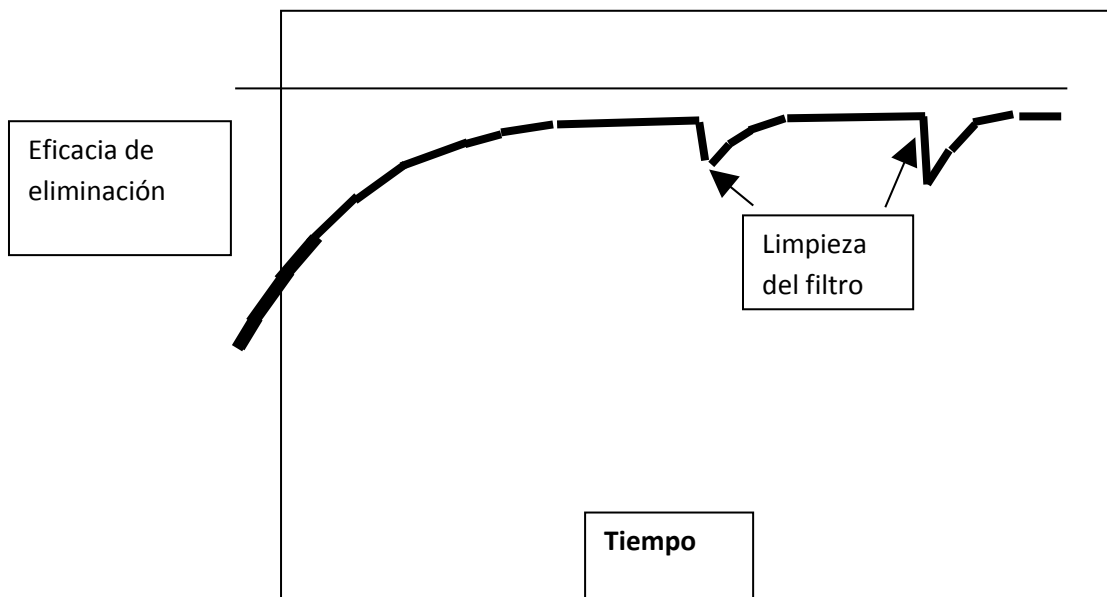
Con el tiempo, los microorganismos de la capa biológica se adaptan a las condiciones donde hay una cierta cantidad de alimentos. Cuando aumenta el afluente y, por consiguiente, también el nivel de contaminación en el agua, los microorganismos no son capaces de consumir o destruir todos los contaminantes. Este aumento puede que proporcione demasiados contaminantes que el filtro no puede degradar y destruir por varios días. Experimentos anteriores han indicado que la porción más grande de bacterias como resultado del aumento, se hace presente en el agua efluente al día siguiente (Buzunis, 1995)

El agua vertida en el filtro puede ser de lluvia, ***de pozos profundos*** y poco profundos, ríos, lagos, depósitos o agua de superficie. Se la debe extraer sistemáticamente de la misma fuente. La turbidez o cantidad de partículas suspendidas en el agua es también un factor clave en el funcionamiento del filtro. Debería estar relativamente libre de partículas suspendidas. Si la turbidez es mayor que 100 NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez), el agua se debería pre-filtrar antes de pasarla por el filtro. Una prueba sencilla para medir la turbidez consiste en colocar una botella de plástico de dos litros, llena de agua, encima de un texto con letra grande, Si puede ver el logotipo, es probable que el agua tenga una turbidez menor que 50 NTU. Para asegurar que el agua para los usuarios sea de la más alta calidad posible, se recomienda que se use un proceso de desinfección, tal como la adición de cloro, en combinación con el filtro de arena.

4.1.5. Tiempo

Por lo general, lleva unas tres semanas para que madure la capa biológica en un filtro nuevo. Durante este tiempo, tanto la eficacia de eliminación como la demanda de oxígeno del filtro aumentan al tiempo que la capa biológica crece. Para limpiar los filtros se revuelve la capa delgada de arena de la superficie y se recoge y se saca el agua sucia resultante. Después de limpiarlo, la eficacia disminuye hasta cierto punto, pero aumenta muy rápidamente al nivel anterior, a la vez que la biocapa se reestablece. Esto se describe en el siguiente diagrama.

4.2. Efectividad del filtro con el paso del tiempo- después de hacer el mantenimiento



La característica más interesante del filtrado lento con arena es que la depuración del líquido que entra en el filtro se efectúa por medios microbiológicos. En la superficie del lecho del filtro se forma una alfombra fina y viscosa llamada *schmutzdecke* o piel de filtro, que es de índole principalmente orgánica y sumamente activa biológicamente.

schmutzdecke son digeridos por ésta, con lo que su número se reduce considerablemente. El agua baja por el filtro pasando por una zona biológicamente activa, las partículas finas quedan atrapadas encima de los granos de arena, donde los microorganismos consumen el material orgánico, incluidos los gérmenes patógenos contenidos en el agua que entra, y se devoran unos a otros (predación). En conjunto, el resultado de todo ello es una reducción considerable del número de bacterias indicadoras y de microorganismos patógenos en el agua.

Después de una operación de limpieza del filtro de arena lento, la piel del filtro tarda algún tiempo en formarse de nuevo, si el agua entra rica en nutrientes puede tardarse algunos pocos días, pero el plazo puede prolongarse varias semanas si el contenido de nutrientes es bajo. Durante éste tiempo debe dejarse que el agua siga pasando por el filtro, pero en principio no deberá suministrarse a los consumidores. Nunca se debe permitir que se sequen durante el proceso de filtrado. La turbiedad del agua cruda no debe exceder de 60 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez) durante más de unas pocas horas, porque se produciría rápidamente un taponado del filtro con la consiguiente ineficiencia del filtrado.

4.3. Ventajas del Filtro Lento de Arena

puede eliminar las bacterias	90 - 99.99 % de las veces	<ul style="list-style-type: none"> • por colado físico • predación • muerte natural
puede eliminar los virus	~ 99 %	<ul style="list-style-type: none"> • por colado físico • predación • muerte natural
puede eliminar protozoos	~ 99 %	<ul style="list-style-type: none"> • por colado físico • predación • muerte natural
puede eliminar helmintos	100%	<ul style="list-style-type: none"> • por colado físico
puede eliminar hierro		<ul style="list-style-type: none"> • se oxida en partículas, que son coladas • por colado físico

4.4. Limitaciones del filtro Lento de Arena

no puede manejar alta turbidez de forma continua		se obstruye prematuramente
no puede eliminar materia compuesta disuelta		<ul style="list-style-type: none"> • partículas de tamaño molecular
<ul style="list-style-type: none"> • ej: sal, dureza, arsénico 		

no puede garantizar la eliminación del 100% de las bacterias	(Laboratorio 97 - 99.9 %) (Campo 90 - 99 %)	<ul style="list-style-type: none"> • bacterias pequeñas • riesgo de funcionamiento insuficiente • recontaminación • si es necesario, usar desinfección (lejía)
no puede eliminar todas las sustancias químicas orgánicas (ej: pesticidas, fertilizantes)		<ul style="list-style-type: none"> • tamaño pequeño
no puede eliminar toda la coloración del agua		<ul style="list-style-type: none"> • a veces, no puede eliminar el agua marrón con material orgánico

4.5. Funcionalidad

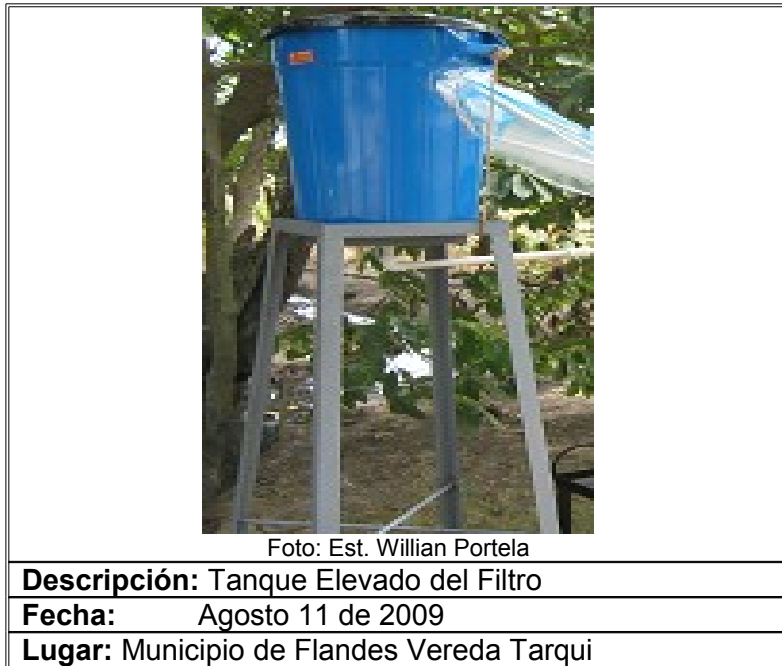
El filtro es un dispositivo de tratamiento casero o de “uso individual”. El agua a filtrarse puede obtenerse del lugar de provisión de agua más cercano, ya sea un río, arroyo o pozo, se transporta físicamente al filtro y se usa inmediatamente después. Por lo tanto, la provisión, el tratamiento y la distribución del agua están completamente bajo el control del morador de la casa. El uso efectivo de la tecnología no requiere la formación de grupos de usuarios u otro apoyo comunitario, que, por lo general, son muy difíciles de desarrollar. La independencia de la casa hace que esta tecnología sea extremadamente adecuada para su uso en los países en desarrollo, que, a menudo, carecen de la dirección y los procesos reglamentarios necesarios para constituir sistemas multifamiliares efectivos y eficaces.

La operación y el mantenimiento del filtro son sencillos. No hay piezas móviles que necesiten ninguna habilidad para que funcionen. Cuando el flujo a través del filtro es muy lento, el mantenimiento consiste sencillamente en lavar los pocos centímetros de arena de la superficie. La operación y el mantenimiento del filtro están, por consiguiente, dentro de la capacidad de las mujeres de la casa, que son, en general, las encargadas de la preparación de los alimentos y el cuidado de los niños.

El filtro ocupa poco lugar y puede caber fácilmente en la mayoría de las habitaciones. De hecho, la experiencia previa ha demostrado, ya que es tan importante para la casa, que, en general, ocupa un lugar de importancia en la sala de estar.

4.6. Partes principales del filtro de arena

- Tanque elevado a 1,30 m de 70 Litros de volumen, para llenar por gravedad el filtro de arena.



- Tubería de captación de ½ pulgada de diámetro que parte del tanque elevado hasta el filtro con una distancia vertical de 11 cm y horizontal de 52 cms, consta de un flanche, un adaptador macho, un codo de ½ pulgada, un tubo de 33 cms, unido a otro tubo de 15 cms mediante una unión corredera para su fácil manejo, el flanche va conectado al filtro y al tubo.



- Recipiente: Es un cilindro en acrílico de espesor 1 cm, 90 cms de alto y 58 cms de diámetro y con una capacidad de 52 galones; Tiene una tapa perforada para la aireación del lecho filtrante con una manguera perforada

que va conectada a la tubería de captación para evitar que el agua caiga directamente sobre la primera capa y dañe, además tiene un bomba de llenado que sirve para controlar el nivel del agua.



Foto: Est. Willian Portela

Descripción: Recipiente Filtro

Fecha: Agosto 11 de 2009

Lugar: Municipio de Flandes Vereda Tarqui

- Tubería de agua filtrada: consiste en tres secciones del tubo; la primera sección presenta perforaciones que deben ubicarse al fondo del recipiente dentro de la capa de gravilla cuya tubería es de PVC de ½ pulgada (tiene 4 tubos en L (ele) perforados cada 2 cms de dimensión de 5 mm que van conectados a un tubo principal que es el encargado de transportar el agua hasta la segunda sección, esta sube internamente hasta el orificio o perforación de salida del filtro que se ubica a 15 cms de fondo del recipiente; la tercera sección es la que se ubica fuera del recipiente que consta de un flanche de color blanco, siendo este extremo el que debe conectarse con la segunda sección, de tal manera que en el tubo de PVC salga el agua por simple derrame, así mismo se realice el retrolavado.



Foto: Est. Willian Portela



Foto: Est. Willian Portela

Descripción: Construcción y Montaje de la salida de agua en espina de pescado

Fecha: Agosto 01de 2009

Lugar: Calle 7 N° 8-50 Casa estudiante Willian Portela (Flandes –Tolima)

- La capa filtrante, consta de 20 cms de grava (piedra triturada de 1, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{8}$ de pulgada) colocada en el fondo del recipiente, envolviendo el tubo de drenaje y sobre ella una capa de 30 cms de arena gruesa cernida entre los tamices 16, 20 y 30, y al final una capa de 10 cms de espesor de arena fina cernida entre los tamices 40 y 50 procesada y de río.



Foto: Est. Willian Portela



Foto: Est. Willian Portela

Descripción: Tamices utilizados para selección de arena y grava filtrante

Fecha: Agosto 11 de 2009

Lugar: Calle 7 N° 8-50 Casa estudiante Willian Portela y Vereda Tarqui

5. MECANISMOS DE ACCIÓN Y NÚMERO DE FUERZAS QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE FILTRACIÓN LENTA, COMO MECANISMOS DE REMOCIÓN FÍSICO-QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS.

5.1. Mecanismos de Filtración

Como las fuerzas que mantienen a las partículas removidas de la suspensión adheridas a las superficies de los granos del medio filtrante son activas para distancias relativamente pequeñas, la filtración es considerada como el resultado de los mecanismos distintos, pero complementarios: Transporte y adherencia, las partículas a removerse son transportadas de la suspensión a la superficie de los granos del medio filtrante. Ellas permanecerán adheridas a los granos, siempre que resistan la acción de las fuerzas de corte debidas a las condiciones hidrodinámicas del escurrimiento.

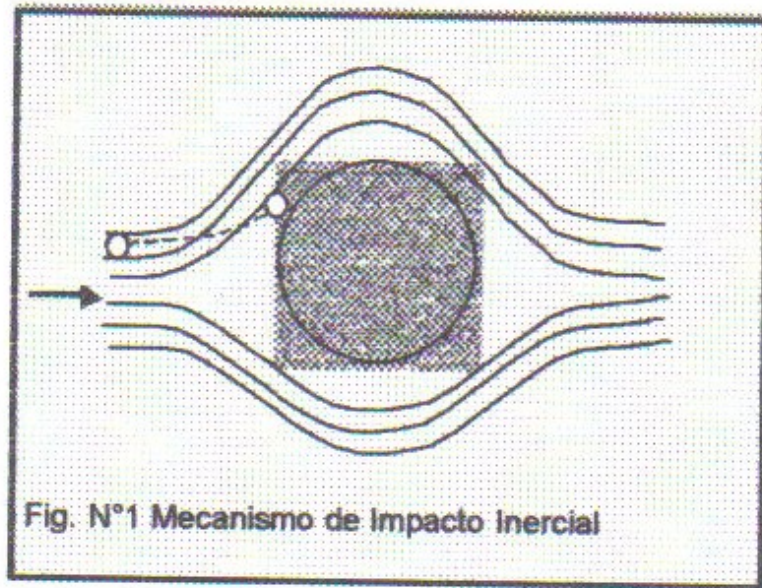
El transporte de las partículas es un fenómeno físico e hidráulico, afectado principalmente, por los parámetros que gobiernan la transferencia de la masa. La adherencia entre partículas y granos es básicamente un fenómeno de acción superficial, que es influenciado por parámetros físicos y químicos.

5.2. Mecanismos de Transporte

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

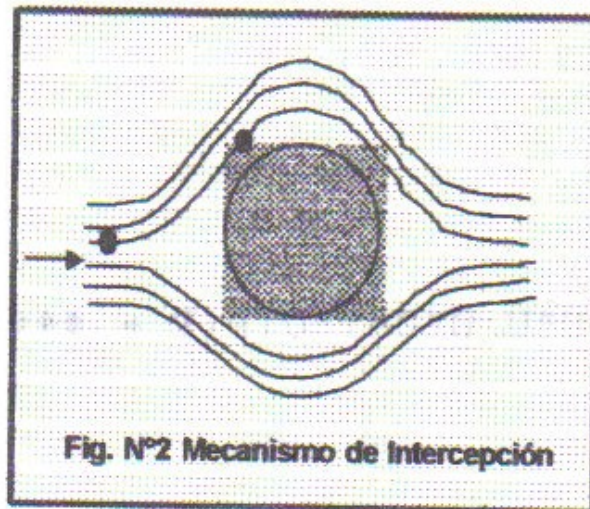
a) Impacto Inercial

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



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

$$\Pi \propto \frac{\rho_s d^2 v_{\infty}}{18\mu D}$$



$$\frac{F_i}{F_g} \approx \frac{2v_i^2}{gD}$$

donde :

- Π = parámetro adimensional que representa la eficiencia del mecanismo
- \rightarrow = densidad de las partículas suspendidas (ML^{-3})
- d = diámetro de las partículas suspendidas (L)
- D = diámetro de los granos del medio filtrante (L)
- v_{oo} = velocidad de aproximación (LT^{-1})
- \geq = viscosidad absoluta del agua ($ML^{-1}T^{-1}$)
- F_i = fuerza de inercia (MLT^{-2})
- F_g = fuerza de gravedad (MLT^{-2})
- v_i = velocidad intersticial (LT^{-1})
- g = aceleración de la gravedad (LT^{-2})

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

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

b) Intercepción

Normalmente, el régimen de escurrimiento durante la filtración es laminar, y por lo tanto, las partículas se mueven a lo largo de las líneas de corriente. Debido a que las partículas suspendidas tienen densidad aproximadamente igual a la del agua, ellas serán removidas de la suspensión cuando, con relación a la superficie de los granos del medio filtrante, las líneas de corriente están a una distancia menor que la mitad del diámetro de las partículas suspendidas, como lo muestra la figura numero 2.

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

$$l@d/D \dots(3)$$

l : parámetro adimensional de intercepción

d : diámetro de las partículas suspendidas (L)

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

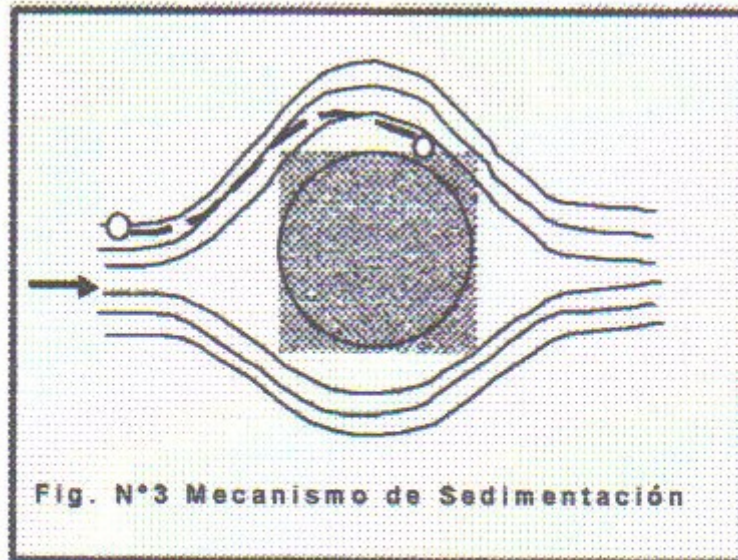
c) Sedimentación

El efecto de la gravedad sobre las partículas suspendidas durante la filtración fue sugerido hace 70 años, cuando Hazen considero los poros de los filtros lentos de arena como pequeñas unidades de sedimentación. Sin embargo, la contribución de este mecanismo fue considerada despreciable por mucho tiempo, pues la velocidad de sedimentación de las partículas suspendidas y, especialmente, la de los pequeños flóculos, es mucho mas pequeña en comparación con la velocidad intersticial. La velocidad de sedimentación de las partículas puede calcularse por la ecuación de Stokes, representada por la siguiente ecuación:

$$v_s = \frac{g(\rho_s - \rho_a)d^2}{18\mu}$$

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

tres muestran el esquema del mecanismo de sedimentación, resaltando la acción de la gravedad sobre la partícula suspendida.



$$\frac{v_s}{v_{oo}} \approx \frac{g(\rho_s - \rho_a)d^2}{18\mu_{oo}}$$

- v_s = velocidad de sedimentación de las partículas (LT^{-1})
- ρ_s = densidad de las partículas (ML^{-3})
- ρ_a = densidad del agua (ML^{-3})
- d = diámetro de las partículas (L)
- μ = viscosidad absoluta del agua ($ML^{-1}T^{-1}$)
- g = aceleración de la gravedad (LT^{-2})

Para $g=9,8 \text{ m/s}^2$, $\rho_s = 1000 \text{ kg/m}^3$; $\rho_a = 1 \text{ kg/m}^3$ y partículas de arcilla suspendida de $d = 10^{-5} \text{ m}$ y $\mu = 2.500 \text{ Kg/m}^3$, v_s resulta aproximadamente igual a $0,1 \text{ mm/s}$.

Siendo V_s/V_{oo} la relación de la velocidad de sedimentación y la velocidad de aproximación de la partícula de suspensión respecto a la superficie del grano, y que tiende a ser cero en el punto tangencial.

Donde:

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

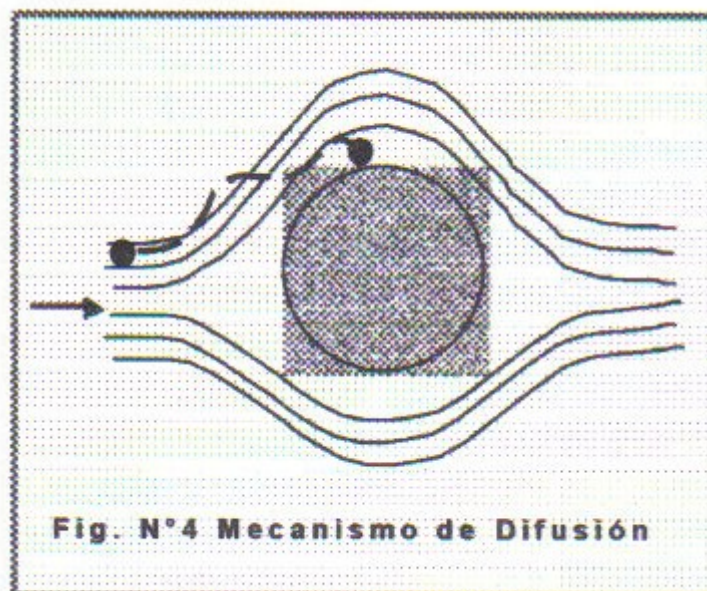
V_{oo} : velocidad de aproximación (LT^{-1})

V_s : velocidad de sedimentación, determinada en la ecuación 4

d) Difusión

Se ha observado que las partículas relativamente pequeñas presentan un movimiento errático cuando se encuentran suspendidas en un medio líquido. Este fenómeno, resultado de un bombardeo intenso a las partículas suspendidas por las moléculas de agua, es conocido como movimiento Browniano y es debido al aumento de la energía termodinámica y a la disminución de la viscosidad del agua.

El movimiento de partículas mayores que $1 \mu m$ es afectado por la fuerza de arrastre y de inercia de las mismas, y por lo tanto, la intensidad del movimiento de difusión resulta inversamente proporcional al tamaño de las partículas suspendidas. La figura cuatro muestra, esquemáticamente, como se produce el transporte de partículas por el mecanismo de difusión.



A pesar de que la floculación pericinetica se produce al movimiento Browniano, parece que la misma no es significativa en la filtración; por lo tanto, el

mecanismo de difusión ha sido evaluado por otros parámetros, tales como: la relación entre la traslación media de las partículas suspendidas y el diámetro de los granos del medio filtrante; o por el número de Peclet.

5.3. Factores que influyen en la Filtración

La eficiencia de la filtración está relacionada con las características de la suspensión y del medio filtrante, con la hidráulica de la filtración y la calidad del efluente. Por ejemplo, la filtración del agua cruda en filtros lentos de arena, y la del agua coagulada en filtros rápidos de arena, resultan de intersecciones distintas entre los granos del medio filtrante y las partículas suspendidas, pues un factor importante de ser tenido en cuenta en la filtración lenta puede, muchas veces, no ser importante para la filtración directa.

5.3.1. Características de la filtración

De modo general, la eficiencia de remoción de partículas suspendidas en un medio filtrante, están relacionadas con las siguientes características de la suspensión:

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

a) Tipo de partículas suspendidas

La filtración de flóculos que no sedimentan en una planta de ablandamiento difiere sustancialmente del caso en que se tienen flóculos provenientes de pretratamiento con una sal de Hierro o Aluminio. Por otro lado, el tipo de partículas primarias presentes en el agua cruda influye en la eficiencia de la filtración. Por ejemplo, la existencia de algas en el afluente a los filtro de una instalación de filtración directa, influye en la formación de curvas de pérdida de

carga más acentuadas que aquellas en que el afluente solo posee partículas suspendidas coaguladas de arcilla o sílice.

b) Tamaño de las partículas suspendidas

Existe un tamaño crítico de partículas suspendidas, del orden $1 \geq \mu\text{m}$, para el cual se tiene menos oportunidad de contacto entre la partícula suspendida y el grano del medio filtrante. Este hecho se puede observar desde el principio cuando el medio filtrante está limpio, hasta el final de la carrera de filtración.

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

c) Densidad de las partículas suspendidas

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

d) Resistencia o dureza de los flóculos

La dureza de los flóculos es otro factor importante en la filtración rápida, pues los flóculos débiles tienden a fragmentarse y penetrar fácilmente en el interior del medio filtrante, favoreciendo que ocurra el traspase final de la turbidez límite, mientras que los flóculos duros o resistentes no se fragmentan fácilmente, pero producen una pérdida de carga mayor.

e) Temperatura

En general, el aumento de temperatura conduce a una eficiencia mayor se tiene un aumento de energía termodinámicas en las partículas del agua y consecuentemente, la difusión se vuelve un mecanismo importante cuando se tienen partículas suspendidas menores de una micra. Por otro lado, la disminución de la viscosidad facilita la acción del mecanismo de sedimentación de partículas mayores de $1 \geq \mu\text{m}$.

f) Concentración de partículas suspendidas

Cuando el medio filtrante se encuentra limpio la eficiencia de remoción depende de la concentración de partículas suspendidas en el afluente. Después de algún tiempo de filtración, la eficiencia de remoción aumenta con el aumento de concentración de las partículas suspendidas en el afluente, pues las partículas retenidas hacen de colectoras con otras partículas suspendidas. Evidentemente, al existir una eficiencia de remoción mayor con el aumento de concentración, la curva de pérdida de carga en función del tiempo será más acentuada.

g) Potencial Z

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

h) pH

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

5.4. Características del medio filtrante

Entre las características del medio filtrante que influyen en la filtración, se destacan:

- El tipo del medio filtrante;
- El tamaño efectivo del material filtrante; y
- El espesor de la capa filtrante

a) Tipo de medio filtrante

El tipo de medio filtrante debe seleccionarse basándose en la calidad que se desea para el agua filtrada. Adicionalmente, también debe tenerse en cuenta, la duración de la creación de filtración y la facilidad de lavado. Un medio filtrante ideal es aquel que de una determinada granulometría y granos de cierto peso

específico, que requiere una cantidad mínima de agua para ser lavado específicamente y que es capaz de remover la mayor cantidad posible de partículas suspendidas, produciendo un efluente de buena calidad.

b) Tamaño efectivo del material filtrante

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

- 1) Tamaño efectivo (Te): en relación al porcentaje (en peso) que pasa por las mallas de una serie granulométrica, el tamaño efectivo se refiere al tamaño de granos correspondiente al porcentaje 10 %.
- 2) Coeficiente de uniformidad (Cu): con relación al porcentaje (en peso) que pasa por las mallas de una serie granulométrica, el coeficiente de uniformidad es igual a la relación entre el tamaño de los granos correspondiente al 60% y el tamaño correspondiente al 10%.
- 3) Forma: la forma de los granos normalmente se evalúa en función del coeficiente de esfericidad (Ce), que es igual a la relación entre el diámetro de una esfera, de velocidad de sedimentación igual a la del grano considerado, y el tamaño medio de los granos entre dos mallas consecutivas de la serie granulométrica, entre las que se preparo el medio filtrante.
- 4) Peso específico (Pe): El peso específico del material es igual al peso de los granos dividido por el volumen efectivo que ocupa los granos.

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

c) Espesor de capas filtrantes

La operación ideal de un filtro es aquella en que la pérdida de carga máxima se produce en el mismo instante en que el efluente presenta la turbiedad límite, conforme como se puede observar cualitativamente en la figura cinco que muestra la curva de pérdida de carga y turbidez de l efluente den función de la duración de la carrera de filtración y del espesor del medio filtrante, para una determinada tasa de filtración, turbiedad límite fijada, pérdida de carga límite fijada, e invariables las demás características de la suspensión y del medio filtrante.

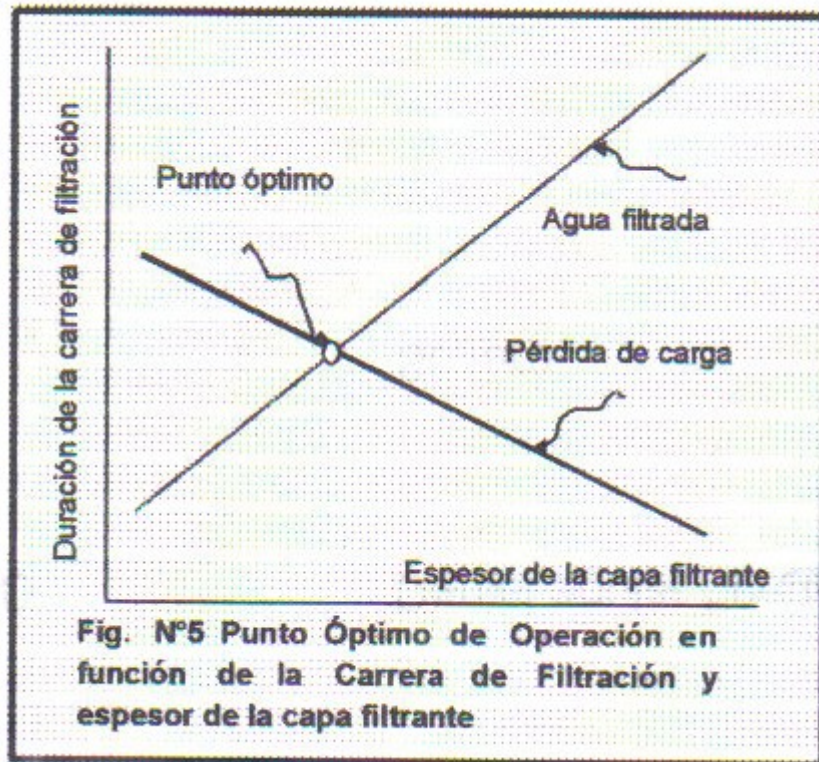


Figura 5

5.5. Características hidráulicas

Las características hidráulicas que influyen en la eficiencia de la filtración son: la tasa de filtración, la carga hidráulica disponible, la calidad del efluente y algunas consideraciones que influyen en la filtración.

a) Tasa de filtración

El empleo de tasas de filtración bajas no asegura, necesariamente, la producción de agua filtrada de mejor calidad y mayor volumen de agua producida por carrera de filtración. Al inicio de la carrera de filtración se observara que luego de algunos minutos, la calidad del efluente es prácticamente la misma cuando el penramiento es deficiente la calidad del efluente filtrado es mejor para tasas de filtración muy bajas.

Las variaciones de velocidad durante una carrera de filtración son muchas veces inevitables y pueden afectar sustancialmente la calidad del efluente. De un modo general, los efectos de las variaciones de tasa de filtración dependen principalmente de la magnitud de la variación producida, de la tasa de filtración,

de la pérdida de carga presentada por el filtro en el momento en que ocurre la variación de la tasa de filtración, y del forma en la que se realiza la variación.

b) Carga hidráulica disponible

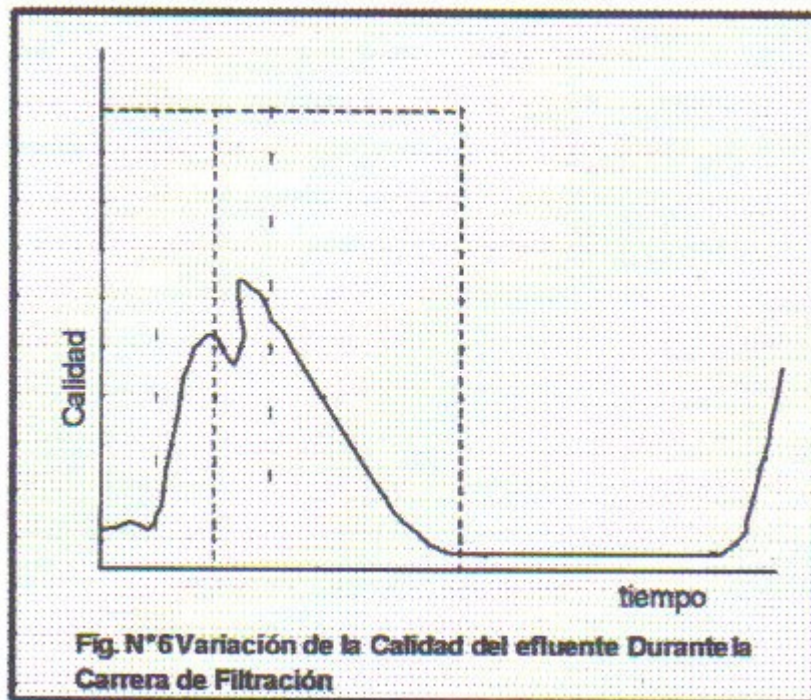
La carga hidráulica disponible a fijarse en un filtro influye significativamente en la duración de la carrera de filtración. Este parámetro es empírico y normalmente es seleccionado por el proyectista. Sin embargo, estudios mostraron que los filtros de tasas declinantes producen carreras de filtración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

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

c) Calidad del efluente

Está relacionada con diversas características inherentes al filtro propiamente dicho, al uso que se destina al agua filtrada, y a la existencia de una operación eficiente. Los patrones de potabilidad varían entre los diversos países, por lo tanto, de un modo general, la turbidez del efluente no debe superar a 5 NTU (Unidades de nefelométricas de Turbidez) y preferentemente, no ser inferior a 1 NTU (Unidades de nefelométricas de Turbidez). Se aconseja que el agua filtrada no presente color, por lo tanto se toleran valores menores a 5 unidades. Desde el punto de vista bacteriológico, los filtros constituyen una barrera sanitaria a los microorganismos, obteniéndose una eficiencia de remoción superior al 99%.

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



d) Consideraciones finales sobre los factores que influyen en la filtración

Desde el punto de vista académico, representar los factores por separado facilita la comprensión de la influencia que ejerce cada uno en la eficiencia de la filtración. En la realidad, la filtración es una operación compleja que no puede ser analizada simplemente en función de una variable, sin tener en cuenta la influencia de los demás. La filtración de las diferentes suspensiones en un mismo medio filtrante y con las mismas características hidráulicas, da como resultados efluentes de diferentes calidades y curvas de pérdidas de cargas de formas distintas. Algunas aguas tienen curvas de pérdidas de carga aproximadamente lineal mientras que otras presentan curvas exponenciales de la pérdida de carga en función del tiempo.

Debido a la complejidad de la filtración, se procura obtener un parámetro que relacione las principales variables de la filtración a fin de que la misma se realice eficientemente.

$$K \propto \frac{v_{oo} D^3 \epsilon H}{\epsilon L}$$

donde:

K	=	índice de la filtrabilidad
v_{oo}	=	velocidad de aproximación (LT^{-1})
D	=	diámetro de los granos del medio filtrante (L)
ϵH	=	pérdida de carga en la capa filtrante de espesor ϵL (L)

PRESION: Es la razón directa de la fuerza ejercida y en razón inversa de la superficie de contacto; queda medida por el cociente:

P: $\frac{\text{Fuerza}}{\text{Superficie}}$

Se dice que se ejerce la unidad de presión cuando la unidad de fuerza se ejerce sobre la unidad de presión. En el sistema Métrico se tiene la unidad de presión cuando se ejerce una fuerza 1 Kg sobre una superficie de 1 m².

- Unidad de presión Sistema Métrico: $p=1\text{Kg}/\text{m}^2$
- Unidad de presión Sistema Ingles: $p=1\text{lb}/\text{pie}^2$

Presión Absoluta: se llama presión absoluta en un punto, a la presión total que existe en este punto, debido a todas las causas que la están produciendo.
(Pabs= Presión atmosférica + presión de la columna líquida)

Presión relativa: Se llama presión relativa a la presión que resulta de restar la presión atmosférica de la presión absoluta.
(Prel= Pabs – Patm)

Presión sobre superficies planas:

La presión en el seno de un líquido en reposo se ejerce siempre normalmente a la superficie, de tal modo que si se tuviera un vaso que contiene un líquido y se le hacen orificios el líquido saldrá en chorro en cuyas direcciones son normales a las paredes en los puntos sumergidos.

Ejemplo: se supone una superficie rectangular sumergida en el seno de un líquido, a la que se pondrá en diferentes posiciones con respecto a la superficie libre del líquido.

Primero se coloca paralela a la superficie libre, sumergida a una profundidad h . La presión en todos los puntos de esa superficie es la misma, es decir, es uniforme. Para calcular el valor de la presión es necesario conocer la profundidad h y el peso específico w del líquido. Llamando A a un punto cualquiera de la superficie en cuestión, tenemos:

$$PA = w \cdot h \quad (1)$$

Para calcular la fuerza que obra sobre toda la superficie S (empuje del líquido sobre la superficie), que llamaremos F tenemos:

$$F = w \cdot h \cdot S \quad (2)$$

En la expresión anterior S es la superficie y no se debe confundir el empuje con la presión. Si la presión es uniforme sobre una superficie determinada, la resultante de las fuerzas que se están ejerciendo sobre cada punto es el empuje o fuerza total y pasa por el centro de gravedad de la superficie.

La expresión (2) se interpreta diciendo que “cuando la presión es uniforme sobre una superficie plana, el empuje tiene valor igual a la intensidad de la presión en cualquier punto, multiplicado por la superficie”. El empuje queda representado por un vector normal a la superficie, que pasa por el centro de gravedad.

Ejercicio: se tiene un cilindro con agua, de altura de la lámina de agua de 75 cm y un diámetro de 56 cm llevando dos riatas, una en cada extremo y que sirven para reforzarlo. ¿Calcular la tensión a que están sujetos cada una de estas dos riatas y la sección que deben tener?

Datos:

$h = 0.75$ mts (altura lamina de agua)

$d = 0.56$ mts (diámetro)

$W = 1000$ Kg/m³ (peso específico del agua)

Cortes del cilindro

$$\text{Empuje } F = w \cdot h \cdot s$$

La distancia del centro de gravedad a la superficie libre del líquido es.

$$h = h/2 = 0.375 \text{ mts}$$

El área proyectada es:

$$S = h \cdot d = 0.75 \text{ m} \cdot 0.56 \text{ m} = 0.42 \text{ m}^2$$

Y el empuje hidrostático sobre medio cilindro es=

$$F = 1000 \text{ Kg/m}^3 \cdot 0.375 \text{ m} \cdot 0.42 \text{ m}^2 = 157.5 \text{ Kg}$$

Se ha considerado como superficie expuesta S la proyección del medio cilindro sobre el diámetro perpendicular al empuje F cosa que en realidad es lo mismo que considerar como área expuesta toda la superficie del medio cilindro ($0.5 \cdot 3.1416 \cdot d \cdot h$) y como empuje total la suma de las proyecciones de las presiones sobre la dirección del empuje F.

La profundidad del centro de presión es:

$$y_c = 2/3 \cdot 0.375 = 0.25 \text{ m}$$

Se descompone el empuje F en dos fuerzas F_1 y F_2 que pasa por la parte superior e inferior del cilindro, para lo cual tomaremos momentos con respecto al punto A de la superficie libre, tenemos:

$$M_A F - M_A F_1 - M_A F_2 = 0$$

$$\text{Pero } M_A F_1 = 0$$

Entonces

$$M_A F = M_A F_2$$

$$y_c F = h F_2$$

$$F_2 = 2/3 \cdot 157.5 = 105 \text{ Kg}$$

$$F_1 = 157.5 - 105 = 52.5 \text{ Kg}$$

$$T_1 = \text{tensión de la riata superior} = F_1/2 = 52.5/2 = 26.25 \text{ Kg}$$

$$T_2 = \text{tensión de la riata inferior} = F_2/2 = 105/2 = 52.5 \text{ Kg}$$

Si tenemos que las reatas pueden trabajar con una fatiga de tensión de xxx Kg/cm² la sección neta de la riata superior tendrá que ser como mínimo de:

Tiempos:

Descarga de agua filtrada 31.2 Litros en un tiempo de 11' 51", a partir de los 8' Es baja la presión con la que fluye el agua.

El filtro tiene un tiempo de llenado de 12' 54" hasta llegar a una lámina de agua de 8 cm, dicha lámina de agua hasta la superficie de la arena tiene un volumen de agua de 19.2 Litros.

6. MANTENIMIENTO DEL FILTRO LENTO DE ARENA, PARA MANTENER SU FUNCIONALIDAD Y ADECUADO PROCESO

Con el tiempo, el uso continuo del filtro causa que la abertura de los poros entre los granos de arena se obstruya con residuos. En consecuencia, el índice de flujo de agua a través del filtro disminuye.

Para limpiar el filtro se adecuo un sistema de retrolavado el cual está localizado en la tubería que conecta también la llave de salida, tiene un manómetro de presión que indica la cantidad de agua con su respectiva presión que debe entrar dentro del filtro para así no dañar las capas de filtración (arena), tiene un orificio a 7 cms de la ultima capa para el desagüe de la dicha.

Para remover la capa biológica se debe raspar con mucha suavidad para no levantar mucha arena fina y se debe evacuar por el orificio de desagüe.

En la tubería de salida hay otro manómetro que indica la presión del filtro, cuando este llegue a 20psi entonces se debe recurrir al retrolavado.

7. CONCLUSIONES

- Mediante la investigación y el desarrollo del trabajo comprendimos los Pro y los Contra del filtro.
- Aprendimos a elaborar y estructurar un filtro de arena.
- Por medio de la estructuración y la práctica sabemos que este filtro está basado en diferentes créditos de ingeniería civil.
- El filtro se elaboro con el fin de apoyar el conocimiento en la rama de la hidráulica.
- Este sistema es viable para la potabilización del agua en zonas rurales donde no hay acueducto (por vivienda o comunidad).

ANEXOS

USO ALTERNATIVO DEL FILTRO DE ARENA COMO ENSAYO DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ

El filtro de arena lento puede ser utilizado de manera alternativa para realizar pruebas de remoción de turbidez, para lo cual se tomaron tres (03) muestras diferentes de agua (Agua con color sin finos, Agua de Rio, Agua con Arcilla y arena); con el objeto de determinar la capacidad filtrante de este mecanismo, en condiciones de turbidez.

El procedimiento de ensayo fue el siguiente:

- Se elaboraron dos pruebas realizando retrolavado previo para garantizar que el filtro tuviera su máximo potencial de remoción activado.
- Posteriormente se realizaron tres pruebas consecutivas, sin retrolavado entre ellas, para verificar la pérdida de capacidad filtrante por colmatación del lecho.
- Finalmente se procesaron los datos de campo y se elaboraron una tabla de resultados que permiten observar los fenómenos significativos.

CONCLUSIONES

- Se determinó mediante las pruebas y análisis de la gráfica, que el filtro trabaja más eficientemente la remoción cuando se hace el retrolavado.
- Se observó que el filtro cuando se trabaja continuamente sin hacerle un retrolavado va perdiendo eficiencia en la remoción de las partículas por aglutinamiento.
- Se estableció que al trabajar con un mayor volumen aumenta el caudal y por ende la filtración será más rápida.
- Al cambiar de volumen en una misma prueba los caudales varían y no se puede tomar una tasa de filtración.

- Al hacer el retrolavado la presión adecuada que se debe manejar es de 2 psi porque al aumentarla drásticamente (4psi en adelante) se levantarán las capas.
- Para una mejor distribución del fluido en las líneas de flujo se requiere que sea bien distribuido el afluente al caer al medio filtrante.

SUGERENCIAS

Después de haber realizado el laboratorio con sus respectivas muestras y habiendo hecho 5 pruebas por cada una de ellas se determino las siguientes sugerencias:

1. Trabajar con un volumen como mínimo de 14 litros para que haya un mejor caudal y no demore tanto la filtración.
2. El recipiente que recibe el agua filtrada debe permanecer limpio.
3. Cuando se realiza el retrolavado se debe ayudar manualmente.
4. Después del retrolavado se debe filtrar con agua potable por lo menos 2 veces la capacidad del tanque de almacenamiento para una óptima remoción.
5. Se debe retrolavar con una presión entre 1.5 y 2 psi.
6. Después del retrolavado se debe raspar manualmente la capa superior, por ende la capa va perdiendo volumen; cuando la altura del medio de filtración llegue a 35 cm añadir 5 cm de arena cernida (tamiz 40,50 y 60) para volverla a su estado original que es de 40 cm.
7. En cuanto a la manguera se sugiere agrandar los orificios y luego del retrolavado retirarla para hacerle su respectivo aseo.
8. No se debe trabajar por mucho tiempo el filtro con turbidez alta (50 NTU en adelante).
9. Se requiere que la Universidad adquiera un turbidímetro para la toma de NTU y el análisis de PH para determinar la acidez de la muestra.

LABORATORIO DEL FILTRO DE ARENA

Los ensayos se harán con sus respectivas muestras para analizar el comportamiento del filtro con cada una de ellas.

Se deben escoger tres tipos de muestra de agua diferentes para lo cual se harán 5 pruebas con el fin de determinar la turbidez y el PH entrando y filtrado.

Para llevar a cabo el laboratorio del filtro de arena se deben seguir los siguientes pasos:

- Nombrar o calificar si es el caso el tipo de muestra que se va a filtrar en el laboratorio.
- Se debe tomar la turbidez de entrada y salida para hacer la respectiva grafica.
- Se debe tomar el PH de entrada y salida.
- Se debe tomar la tasa de filtración (la carrera que hace la partícula desde el momento que ingresa al filtro hasta que cumple con su mecanismo de adherencia).
- Se debe tomar como mínimo dos caudales del agua filtrada.

El procedimiento específico del ensayo será:

1. Se debe llenar manualmente el tanque elevado con la muestra de agua, con un volumen mínimo de 14 Lts.
2. Abrir la llave de paso del tanque elevado al filtro y la llave del efluente.
3. Cuando el agua valla entrando al filtro se debe tomar el tiempo de filtración (recorrido del agua cuando entra a la arena y sale de la llave del efluente).
4. El recipiente que recibe el efluente debe tener una medida para poder hallar el volumen y así calcular su caudal.
5. Se deben de tomar dos (02) caudales como mínimo, para poder hallar tasa de filtración.
6. Al finalizar la toma de datos se debe llenar un informe general del laboratorio y sus respectivas conclusiones de turbidez, PH y caudal

LABORATORIO DEL FILTRO DE ARENA

Fecha: Septiembre 27 de 2009

MUESTRAS:

1. MUESTRA Agua con color sin finos 2.MUESTRA Agua de Rio 3.MUESTRA Agua con Arcilla y arena

ENSAYO: Se harán 5 ensayos con cada muestra, las dos primeras pruebas se harán con el filtro totalmente limpio, las otras tres pruebas no se hará el retrolavado.

Nº prueba	Muestra	Turb NTU	PH	Vol (ltrs)	T Filtra (seg)
1	1	54.9	7.5	9.6	5
2	1	54.9	7.5	9.6	5
3	1	54.9	7.5	9.6	8
4	1	54.9	7.5	9.6	8
5	1	54.9	7.5	9.6	9

Nº prueba	Muestra	Turb NTU	PH	Q (ltrs/min)	Q (ltrs/min)
1	1	0.79	7.5	1.11	1.06
2	1	0.74	7.5	1.11	1.06
3	1	2.04	7.5	1.12	1.04
4	1	2.08	7.5	1.12	1.03
5	1	2.16	7.5	1.14	1.04

Nº prueba	Muestra	Turb NTU	PH	Vol (ltrs)	T Filtra (seg)
1	2	103.7	7.5	8.21	6
2	2	103.7	7.5	8.21	6
3	2	103.7	7.5	6.84	8
4	2	103.7	7.5	19.16	12
5	2	103.7	7.5	19.16	9

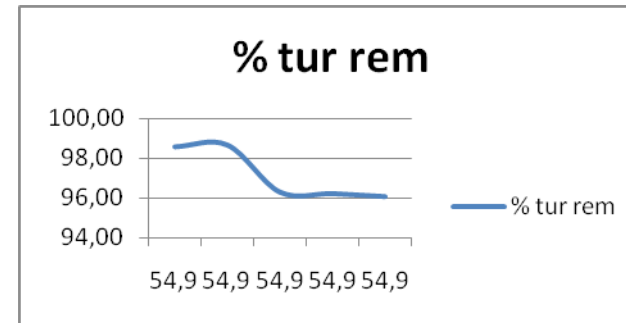
Nº prueba	Muestra	Turb NTU	PH	Q (ltrs/min)	Q (ltrs/min)
1	2	4.56	7.5	0.7	0.6
2	2	4.58	7.5	0.7	0.6
3	2	4.63	7.5	0.45	0
4	2	6.56	7.5	1.33	2.4
5	2	7.02	7.5	1.33	2.3

Nº prueba	Muestra	Turb NTU	PH	Vol (ltrs)	T Filtra (seg)
1	3	104.3	7	13.7	5
2	3	104.3	7	13.7	5
3	3	104.3	7	13.7	5
4	3	104.3	7	13.7	5
5	3	104.3	7	13.7	5

Nº prueba	Muestra	Turb NTU	PH	Q (ltrs/min)	Q (ltrs/min)
1	3	6.87	7.5	0.62	0.6
2	3	7.1	7.5	0.6	0.6
3	3	30.89	7.5	1.25	1.30
4	3	35.48	7.5	1.23	1.28
5	3	42.24	7.5	1.25	1.26

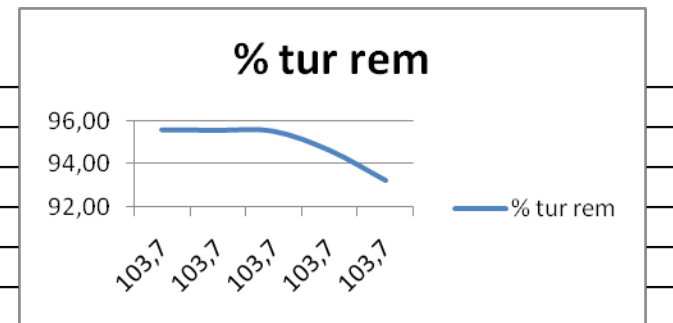
Muestra N° 1

tur ent	tur sal	% tur rem
54,9	0,79	98,56
54,9	0,74	98,65
54,9	2,04	96,28
54,9	2,08	96,21
54,9	2,16	96,07



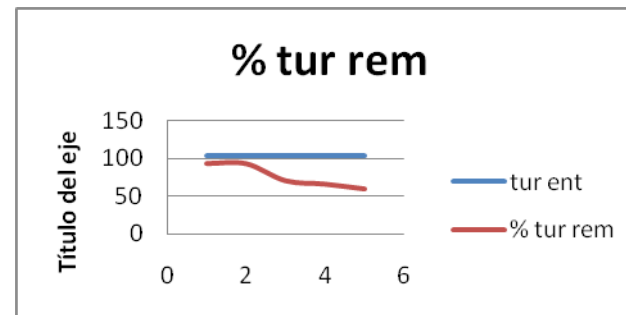
Muestra N°2

tur ent	tur sal	% tur rem
103,7	4,56	95,60
103,7	4,58	95,58
103,7	4,63	95,54
103,7	5,56	94,64
103,7	7,02	93,23



Muestra N°3

tur ent	tur sal	% tur rem
104,3	6,87	93,41
104,3	7,1	93,19
104,3	30,89	70,38
104,3	35,48	65,98
104,3	42,24	59,50



tur ent: turbidez de entrada

tur sal: turbidez de salida

% tur rem: porcentaje de turbidez removida

LABORATORIO DEL FILTRO DE ARENA

Fecha: _____

MUESTRAS:

1. MUESTRA _____ 2.MUESTRA _____ 3.MUESTRA _____

ENSAYO: Se harán 5 ensayos con cada muestra, las dos primeras pruebas se harán con el filtro totalmente limpio, las otras tres pruebas no se hará el retrolavado.

Nº prueba	Muestra	Turb NTU	PH	Vol (ltrs)	T Filtra (seg)

Nº prueba	Muestra	Turb NTU	PH	Q (ltrs/min)	Q (ltrs/min)

Nº prueba	Muestra	Turb NTU	PH	Vol (ltrs)	T Filtra (seg)

Nº prueba	Muestra	Turb NTU	PH	Q (ltrs/min)	Q (ltrs/min)

Nº prueba	Muestra	Turb NTU	PH	Vol (ltrs)	T Filtra (seg)

Nº prueba	Muestra	Turb NTU	PH	Q (ltrs/min)	Q (ltrs/min)

INFORME

TURBIDEZ:

COLOR:

CAUDAL:

8. RECOMENDACIONES

- El filtro no debe trabajar con agua de mucha turbiedad.
- Se debe dejar entrar aire al filtro.

- El filtro únicamente cambia la parte física del agua.
- La lámina de agua debe tener una altura de 5 a 8 cm por encima al nivel de la capa de arena.
- El flujo debe ser constante para su oxigenación pero con tiempo de descanso para que pueda trabajar la capa biológica.

BIBLIOGRAFIA

RODIER, J. Análisis de las aguas. Ediciones Omega A., Barcelona, 1981.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Gestión para el Manejo, Tratamiento y Disposición Final de las Aguas Residuales, Santafé de Bogotá, D.C., 2002. 64 p.

RESOLUCIÓN 1096 / 2000. Reglamento técnico de Saneamiento Básico y Agua Potable (RAS). Santafé de Bogotá, D.C., Noviembre del 2000.

Bolinaga, Juan. "[Mecánica](#) elemental de los fluidos". Fundación Polar. "[Universidad Católica Andrés](#)". Caracas, 1992.

Arboleda Jorge. *“Manual de desinfección del Agua”*. 1974

Programa de Aguas. *“Curso Teórico Práctico Desinfección de Aguas y Aplicación del Cloro como Desinfectante”*. UMSS Cochabamba 1997

Vicente M. Witt / Fred M. Reiff. *“La Desinfección del Agua a Nivel Casero en Zonas Urbanas Marginales y Rurales”*. Washington, D.C., OPS, 1993.