



## FILTROS LENTOS DE ARENA

La filtración biológica consiste en circular agua cruda a través de arena. El principio consiste en la formación de una capa biológica, desarrollándose procesos de degradación química y biológica que reducen la materia retenida a formas más simples.

Los filtros contienen los siguientes componentes:

- Caja del filtro: se determina por lecho de arena, capa de soporte y sistema de drenaje, agua sobrenadante y borde libre.
- Capa sobrenadante de agua cruda: proporciona carga hidráulica para pasar agua sobre el lecho filtrante, crea un periodo de retención.
- Lecho de arena filtrante: compuesto por material granular (arena). Se describe en función de diámetro efectivo y coeficiente de uniformidad.
- Sistema de drenaje: sirve para: soporte de material filtrante, asegura recolección uniforme del agua, llenado de los filtros.
- Estructura de entrada y salida: sirve para: regular caudales de ingreso, ingreso de flujo uniforme, drenaje, graduación del líquido sobrenadante
- Dispositivos reguladores: sirven para controlar operaciones más importantes por medio de válvulas, vertederos y otros dispositivos.

Ventajas de este tratamiento: mejoran la calidad física, química y bacteriológica del agua sin uso de químicos, además de una operación sencilla, económica y eficaz.

El diseño consta de dos etapas

### ➤ Primera

- Definir capacidad del almacenamiento.
- Aprovechar infraestructura existente.
- Identificar alternativas de pretratamiento.
- Estimar costos de construcción, operación y mantenimiento.

### ➤ Segunda

- Conceptualización y ejecución del diseño estructural.
- Definición de especificaciones técnicas: materiales y equipos utilizados en diseño.



## INDICE

INDICE .....	2
1. CAPITULO 1.....	7
1.1 INTRODUCCION .....	7
1.2 ANTECEDENTES .....	8
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	9
1.4 ALCANCE.....	9
1.5 OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS .....	10
1.5.1 OBJETIVO GENERAL .....	10
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
2. CAPITULO 2.....	10
2.1 FILTROS BIOLÓGICOS .....	10
2.2 PRINCIPIOS DE LOS FILTROS BIOLÓGICOS .....	10
2.2.1 COMPONENTES DEL FILTRO .....	13
2.2.1.1 <i>Caja del filtro</i> .....	14
2.2.1.2 <i>Estructura de entrada</i> .....	14
2.2.1.3 <i>Capa de agua sobrenadante</i> .....	19
2.2.1.4 <i>Salida de impurezas flotantes</i> .....	20
2.2.1.5 <i>Lecho del medio filtrante</i> .....	20
2.2.1.6 <i>Sistema de drenaje</i> .....	21
2.2.1.7 <i>Cámara de salida</i> .....	24
2.2.1.8 <i>Dispositivos de regulación y control del filtro</i> .....	24
2.2.2 ASPECTOS TÉCNICOS.....	26
2.2.2.1 <i>Lecho filtrante</i> .....	26
2.2.2.2 <i>Drenaje</i> .....	26
2.2.2.3 <i>Velocidad de diseño</i> .....	27
2.2.2.4 <i>Otros aspectos técnicos</i> .....	29
2.2.3 VENTAJAS DE LOS FILTROS LENTOS .....	29
2.2.3.1 <i>Ventajas de la tecnología biológica</i> .....	30
2.2.4 RESTRICCIONES .....	31
2.3 PROCESO DE DISEÑO.....	32
2.3.1 COMPONENTES PRINCIPALES .....	32
2.3.1.1 <i>Captación de agua cruda y bombeo</i> .....	32
2.3.1.2 <i>Tanque de compensación de agua cruda</i> .....	33
2.3.1.3 <i>Unidad de pretratamiento</i> .....	33
2.3.1.4 <i>Filtros lentos de arena</i> .....	33



2.3.1.5 Almacenamiento y bombeo de agua tratada .....	35
2.3.1.6 Sistemas de distribución .....	35
2.3.2 PREDISEÑO .....	36
2.3.2.1 CONDICIONES REQUERIDAS PARA FILTRACION LENTA CON ARENA.....	36
Calidad del agua.....	36
Tamaño de la comunidad .....	37
Rendimiento requerido .....	38
Proceso de pretratamiento .....	38
Conclusiones.....	38
2.3.2.2 VARIACION DE CAUDAL .....	38
2.3.2.2.1 Análisis de caudal.....	39
Ciclo anual .....	39
Demanda horaria.....	39
Caudal de operación fijo en base al ciclo diario.....	39
Caudal de diseño.....	39
2.3.2.2.2 Almacenamiento de agua tratada .....	39
2.3.3 DISEÑO .....	39
2.3.3.1 PRINCIPIOS.....	39
2.3.3.1.1 Dimensionamiento del lecho filtrante.....	40
Área .....	40
Almacenamiento del agua tratada .....	40
Profundidad de la arena.....	40
Efecto de la profundidad del lecho en la eficiencia de remoción. ....	40
2.3.3.1.2 Hidráulica.....	41
Distribución .....	41
Recolección .....	41
Drenaje .....	42
Rellenado después del raspado de arena.....	42
Vertedero.....	42
Medidas de caudales.....	42
Control de caudal .....	42
Control de aguas abajo .....	43
Medición de la pérdida de carga .....	43
Galería de tuberías .....	43
Acceso a los filtros.....	43
2.3.3.1.3 Sistema de recuperación para arena.....	43
2.3.3.1.4 Caja del filtro.....	44
Rangos de carga hidráulica (HLR) y área.....	44
Número de células.....	44
Diagrama .....	44
Profundidad de la caja del filtro .....	44
Diseño estructural .....	45



2.3.3.1.5 <i>Desinfección</i> .....	45
2.3.3.1.6 <i>Arenas y gravas</i> .....	45
Especificación del tamaño de arena .....	45
El fundamento de Hazen .....	46
Recomendación de Hazen para el tamaño de arena .....	47
Recomendaciones actuales .....	47
Determinación de las características de arena .....	48
Soporte de grava .....	48
Tamaño .....	48
Profundidad de las capas de grava .....	48
Recomendaciones .....	48
2.4 PROCESO DE TRATAMIENTO .....	48
2.4.1 <i>Mecanismos para remover partículas</i> .....	48
2.4.1.1 Mecanismos de transporte .....	49
2.4.1.2 Mecanismos de enlace .....	49
2.4.1.3 Mecanismos de purificación .....	50
2.4.2 <i>Proceso de tratamiento</i> .....	51
2.4.3 <i>Pretratamiento del agua superficial</i> .....	52
2.4.4 <i>Efecto de las algas</i> .....	52
2.4.5 <i>Control de algas</i> .....	53
2.5 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO .....	53
<i>Observaciones generales</i> .....	54
2.5.1 <i>OPERACION</i> .....	54
2.5.1.1 Puesta en servicio de un filtro nuevo .....	54
2.5.1.2 Puesta en marcha de un filtro .....	55
2.5.2 <i>MANTENIMIENTO</i> .....	56
2.5.2.1 Limpieza del lecho de arena .....	56
2.5.2.2 Rearenamiento de un filtro .....	57
2.6 RESULTADOS DE LA FILTRACION LENTA EN ARENA .....	60
2.7 COSTOS DE LOS FILTROS LENTOS DE ARENA .....	60
2.7.1 <i>COSTOS DE CONSTRUCCION</i> .....	60
2.7.1.1 Costos por metro cuadrado del lecho filtrante .....	61
2.7.1.2 Costo mínimo de los filtros .....	61
2.7.2 <i>COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</i> .....	62
3. CAPITULO 3. ....	63
3.1 CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DEL AGUA SUPERFICIAL EN NUESTRA REGION .....	63
3.1.1 RECOPIACION DE ANALISIS EXISTENTES .....	63
3.1.1.1 <i>CARACTERISTICAS FISICAS Y BACTERIOLOGICAS DEL RIO YANUNCAY</i> .....	63
3.1.1.2 <i>CARACTERISTICAS FISICAS Y BACTERIOLOGICAS DEL RIO TARQUI</i> .....	64



<b>3.1.2 EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA.....</b>	<b>68</b>
3.1.2.1 <i>Calidad del Agua del Río Yanuncay.....</i>	<i>68</i>
3.1.2.2 <i>Calidad del Agua del Río Tarqui.....</i>	<i>69</i>
<b>3.1.3 TRATABILIDAD DEL AGUA PARA SU POTABILIZACION UTILIZANDO F.L.A.....</b>	<b>71</b>
<b>3.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>77</b>
<b>3.3 BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>78</b>
<b>3.4 ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>79</b>
<b>3.5 ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>80</b>



**UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

TESINA PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**TEMA:**

FILTROS BIOLÓGICOS PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA,  
POSIBILIDADES DE USO DE FLA (FILTROS LENTOS DE ARENA) CON  
AGUA SUPERFICIAL DE NUESTRA REGIÓN.

**AUTORES:**

DIEGO ANDRÉS BLACIO ORDOÑEZ.  
JOSE LUIS PALACIOS PEREZ.

**DIRECTOR:**

ING. GALO ORDOÑEZ

**CUENCA ECUADOR  
2011**



## 1. CAPITULO 1.

### 1.1 INTRODUCCION

Ante la necesidad que tienen las pequeñas comunidades, de disponer continua y eficientemente de agua potable, es necesario recurrir al estudio y planteamiento de nuevas alternativas de potabilización del agua, alternativas que sean accesibles y económicamente viables, que satisfagan la demanda de agua para su uso doméstico.

Unas de las alternativas para la potabilización del agua son los métodos de filtración biológica y filtración lenta en arena los cuales son tratamientos simples, económicos y fiables que pueden satisfacer a la comunidad brindando agua potable libre de contaminantes que puedan afectar a su salud.

Aunque el uso de filtros biológicos es una técnica muy antigua y empleada, lo que la hace atractiva, en la actualidad, es la utilización de nuevos materiales que reemplazan a los usados en los medios granulares tradicionales, mejorando así su competencia frente a otras alternativas de tratamiento. Las variaciones que podrían hacerse al proceso evidencian un tema poco explorado a nivel mundial constituyéndose en un estudio novedoso.

La filtración lenta en arena es una tecnología apropiada para la potabilización del agua en zonas en donde la mano de obra calificada es escasa, costosa y en donde se tiene la disponibilidad de grandes áreas para la instalación de estos sistemas. Estas son unas de las principales ventajas que son inherentes y que la hacen viable para países y comunidades que tienen bajo presupuesto para la operación y mantenimiento.



## 1.2 ANTECEDENTES

La filtración lenta en arena es el sistema de tratamiento de agua más antiguo utilizado por la humanidad. Es sencillo y efectivo porque copia exactamente el proceso de purificación que se da en la naturaleza al atravesar el agua lluvia los estratos de la corteza terrestre hasta encontrar los acuíferos o ríos subterráneos

La filtración lenta de arena ha sido proceso de tratamiento de aguas eficaz para prevenir la transmisión de la enfermedad gastrointestinal por más de 150 años, primero siendo utilizado en Gran Bretaña y más adelante en otros países europeos. La eficacia de este proceso del tratamiento de aguas fue demostrada durante la epidemia 1892 del cólera en Hamburgo, Alemania, cuando la ciencia de la microbiología estaba en sus primeros años de desarrollo. Según lo descrito por Gainey y colaboradores (1952), el brote de la enfermedad implicó dos ciudades Altona y Hamburgo, ya que ambas utilizaron el río Elba como fuente del agua potable. Altona, localizado aguas abajo recibía el producto del agua de las descargas de la alcantarilla de Hamburgo, se esperaba una situación similar del brote, pero Altona utilizó la filtración lenta de arena para purificar el río Elba.

Hamburgo, careciendo de filtros lentos de arena, presentó la parte más recia del brote, con 8605 muertes. Gainey y colaboradores (1952), obtuvieron los índices de mortalidad del cólera como 1344 por 100.000 habitantes en Hamburgo y 230 por 100.000 habitantes en Altona. Atribuyendo un gran porcentaje de las muertes por cólera en Altona a las infecciones que ocurrieron en Hamburgo. Este acontecimiento ilustra la eficacia de los filtros de arena lentos para controlar los contaminantes microbiológicos aun cuando el personal carecía de una comprensión moderna en microbiología.

Durante el presente siglo se desarrolló el filtro rápido que, comparativamente con el filtro lento, requiere de áreas más pequeñas para tratar el mismo caudal y por lo tanto tiene menor costo inicial, aunque es más costoso y complejo de operar. Las nuevas tecnologías calificaron como obsoleto al filtro lento, al ser más simple que cualquiera de las innovaciones más recientes, pues se supuso que debía ser necesariamente inferior. Paradójicamente, pese a ser el sistema de tratamiento más antiguo del mundo, es uno de los menos comprendidos y del que menos investigaciones se han realizado sobre el comportamiento del proceso y su eficiencia.





Investigaciones recientes impulsan el resurgimiento del filtro lento, permitiendo conocer profundamente este complejo proceso que se desarrolla en forma natural, sin la aplicación de ninguna sustancia química, pero que requiere de un buen diseño, así como de una operación apropiada y un mantenimiento cuidadoso para no afectar el mecanismo biológico del filtro y reducir la eficiencia de remoción microbiológica.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

El agua dulce es un recurso limitado. La proporción utilizable de este recurso es menor al 1% del total y 0.01% de todo el agua sobre la tierra (UNEP). Según la OMS, cada año mueren casi tres millones y medio de seres humanos, y en su mayoría niños con enfermedades diarreicas agudas (EDA) que son frecuentemente originadas por falta de servicios de agua. Los factores que agudizan el problema de desabastecimiento de aguas son: el crecimiento imparable de la población y el efecto invernadero que acelera la desertificación de muchas zonas alrededor del planeta, afectando tanto el ciclo hídrico como al cambio climático y reduciendo la media de precipitaciones esperadas en regiones ya desiertas o semi-desiertas. Por esta razón se establecen técnicas y estrategias que ayudarán el proceso de la purificación de agua para el consumo humano, unas de las técnicas son el uso de filtros biológicos y filtros lentos de arena que son sistemas sencillos y efectivos, donde el agua pasa a través de lechos de capas de diferentes tamaños las cuales retienen las impurezas y patógenos que contienen.

### **1.4 ALCANCE**

La presente monografía tiene como alcance una revisión y análisis del proceso de biofiltración como una alternativa que garantiza un estado de saneamiento básico adecuado, mejorando así la calidad de vida de las comunidades y con la posibilidad de uso de filtros lentos de arena (FLA) con aguas superficiales de nuestra región.



## **1.5 OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS**

### **1.5.1 OBJETIVO GENERAL**

Revisión, análisis y usos de filtros biológicos para el tratamiento de agua y determinar las posibilidades de uso de filtros lentos de arena (FLA) con agua superficial de nuestra región.

### **1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

La finalidad del presente estudio comprende:

1. Examinar los materiales y componentes que intervienen en la elaboración de un filtro lento de arena.
2. Conocer las ventajas de los filtros lentos de arena en la purificación del agua.
3. Conocer los porcentajes de remoción de los contaminantes físicos y bacteriológicos de nuestras aguas superficiales.
4. Analizar los parámetros más importantes para el diseño de filtros lentos de arena.
5. Identificar las limitantes o restricciones en los filtros lentos de arena.

## **2. CAPITULO 2.**

### **2.1 FILTROS BIOLÓGICOS**

#### **2.2 PRINCIPIOS DE LOS FILTROS BIOLÓGICOS**

La filtración biológica se consigue al hacer circular el agua cruda a través de un manto poroso de arena. Durante el proceso las impurezas entran en contacto con la superficie de las partículas del medio filtrante y son retenidas, desarrollándose adicionalmente procesos de degradación química y biológica que reducen la materia retenida a formas más simples.

El agua cruda que ingresa a la unidad permanece sobre el medio filtrante, dependiendo de las velocidades de filtración adoptadas.



El principio de remoción consiste en la formación superficial de una capa biológica en donde coexisten bacterias, protozoos, algas y nemátodos entre otros, generando una relación de simbiosis en donde las algas proveen el oxígeno necesario para la supervivencia de los demás microorganismos, mientras que estos aportan el bióxido de carbono que las algas consumen

Los bioindicadores son organismos que se utilizan para demostrar la presencia o la ausencia de algún fenómeno que se quiera comprobar

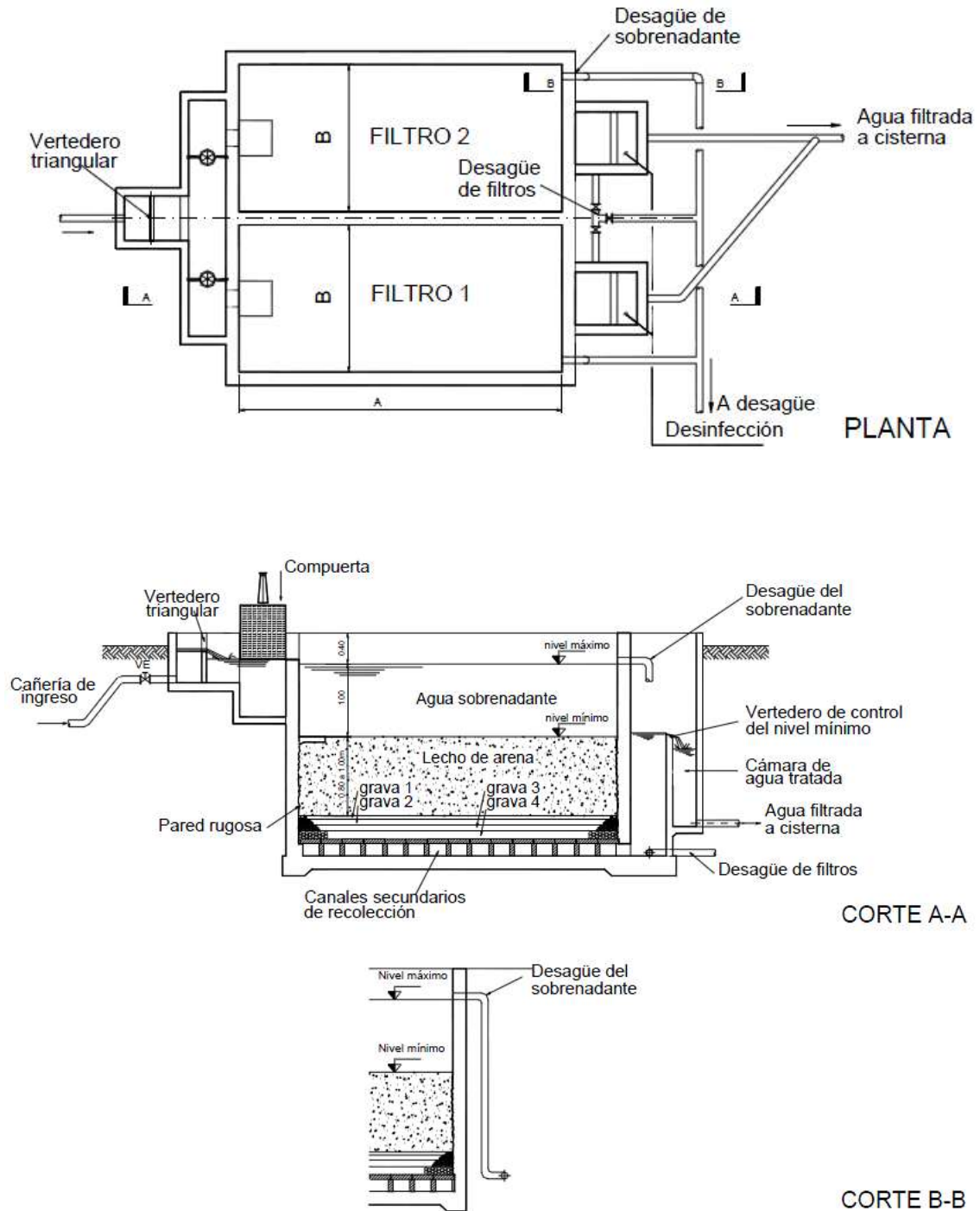
Hay circunstancias específicas, como el aumento de la turbiedad o el incremento de microorganismos obturadores de filtros lentos, ya sean el producto de un fenómeno hidrológico o climático, como fuertes lluvias o el verano intenso respectivamente, que obliga a incrementar la frecuencia del mantenimiento del sistema de filtración.

Este mantenimiento consiste en remover la capa superior de arena junto con el lecho biológico y poner nuevamente en funcionamiento el filtro. La arena removida es lavada con agua potable y se almacena para una posterior colocación. Estas circunstancias generan una rápida pérdida de carga del filtro, disminuyendo así, la carrera de filtración, es decir, en donde normalmente esta puede durar entre 60 a 90 días se ha rebajado a 30 días y a veces hasta menos.

Es importante destacar que la radiación solar juega un papel importante en el crecimiento microbiano, especialmente en el crecimiento logarítmico de las algas.

Estos microorganismos son importantes en el proceso de tratamiento del agua, ya que aportan el oxígeno que necesitan las bacterias, los protozoos tales como los rizópodos o ciliados y los gusanos acuáticos, para degradar la materia orgánica.

Cuando el número de algas es tal que supera la capacidad depuradora de la capa biológica y la relación simbiótica que tiene con los otros microorganismos presentes en ella, sus efectos positivos se transforman en negativos, porque obturan el material filtrante, los conductos y las válvulas de la planta de tratamiento.



**Figura 1. Detalles de un filtro lento de arena.**



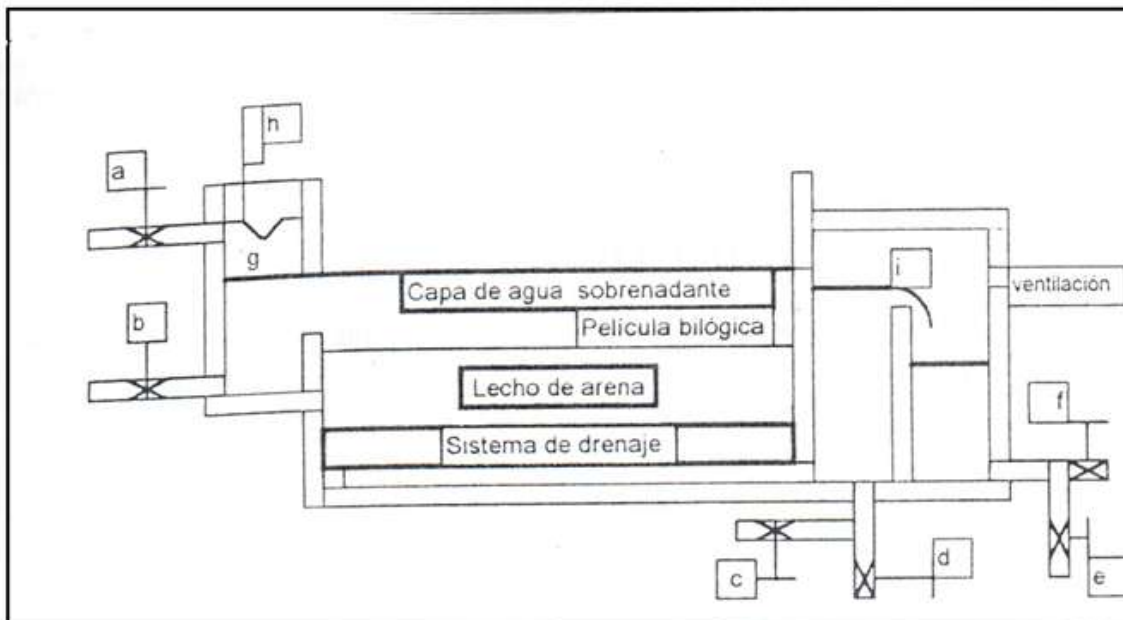
### 2.2.1 COMPONENTES DEL FILTRO

Básicamente, un filtro lento de arena consta de una estructura que contiene:

- Una capa sobrenadante de agua cruda.
- Un lecho de arena filtrante.
- Un sistema de drenaje.
- Una estructura de entrada y salida.
- Un conjunto de dispositivos reguladores y de control.

El flujo de agua en un filtro lento de arena puede regularse a la salida o a la entrada del filtro y el método seleccionado puede afectar ligeramente la estructura, los dispositivos de control y el funcionamiento.

A continuación se muestra el esquema de una planta piloto y la descripción de sus componentes.



**Figura 2. Esquema de un filtro lento con regulación en la entrada.**

- Válvula para dar entrada al agua cruda y regular la velocidad de filtración
- Dispositivo para drenar la capa sobrenadante
- Válvula para llenar el lecho filtrante con agua limpia
- Válvula para llenar el lecho filtrante con agua limpia
- Válvula para desechar agua tratada
- Válvula para suministrar agua tratada al depósito de agua limpia
- Vertedero de entrada
- Indicados Calibrado de flujo
- Vertedero de salida



### 2.2.1.1 CAJA DEL FILTRO

La altura total del filtro está determinada por la altura de:

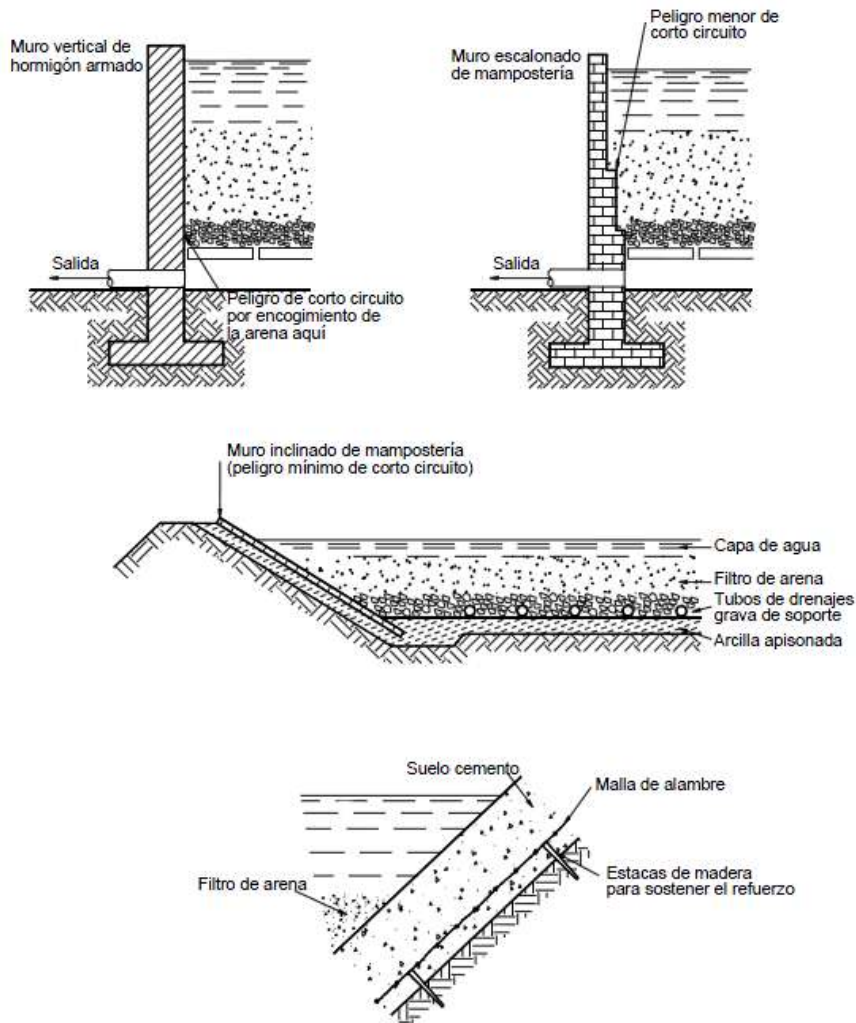
- Lecho de arena.
- Capa de soporte y sistema de drenaje.
- Sobrenadante.
- Borde libre.

La altura total del filtro, desde el fondo hasta la corona de los muros, puede variar de 1.9 a 2.5 m y se puede construir en hormigón reforzado, ferrocemento, piedra o mampostería. La caja del filtro y las estructuras de entrada y salida deben ser estancos para prevenir pérdidas y evitar la recontaminación del agua tratada por las aguas subterráneas poco profundas o de escorrentía superficial.

La sección o área de filtración estaría determinada por el caudal de diseño de la planta y la velocidad de filtración seleccionada la misma que varía entre 0.1 a 0.3 m/h, pudiendo ser de forma rectangular o circular.

$$As = Q/Vf$$

En la siguiente figura se detallan cajas de los filtros lentos.



**Figura 3. Detalle de caja de filtro lento de arena.**

### 2.2.1.2 ESTRUCTURA DE ENTRADA

A continuación se mencionan las funciones que pueden cumplir los sistemas de entrada:

- Asegurar una equirepartición del caudal a tratar en las unidades de la batería de filtros.

Una distribución equitativa a cada unidad de una batería se consigue diseñando un canal de sección variable y velocidad constante.

Otra solución es la de repartir el caudal total a cada unidad mediante vertederos rectangulares de caída libre, desde ese canal común a la batería o desde una cámara, alimentada por una cañería a presión.

- Uniformar el flujo que ingresa a cada caja.



El caudal derivado a través del vertedero o compuerta pasa a un sector en donde se produce el paralelismo de los filetes líquidos, antes de su ingreso a la caja del filtro.

- Reducir del agua que ingresa a la caja filtrante, a fin de reducir las turbulencias dentro de la masa líquida del sobrenadante y además prevenir la erosión de la capa biológica superficial. En el caso de no contar con esa cámara, el impacto del chorro del agua cruda en el lecho de arena, se incrementan a medida que se extraen las capas colmatadas con las carreras de un ciclo. La erosión provocada por ese chorro se atenúa mediante una loseta proyectada en la superficie del manto.
- Drenar el agua del sobrenadante cuando se limpia el filtro.

Una solución anteriormente indicada es la descarga a la cámara de ingreso.

La otra es permitir a través del sistema de filtración con velocidad variable y decreciente, pero demanda mayor tiempo al estar colmatado el medio filtrante.

- Graduar el nivel líquido del sobrenadante.

Se logra mediante una válvula mariposa accionada por un flotante, por una válvula o compuerta operadas manualmente en la cámara o canal de acceso del agua cruda de la batería, o el método más común, que es de realizar un vertedero de rebose en cada unidad o en el sistema general de acceso del agua cruda.

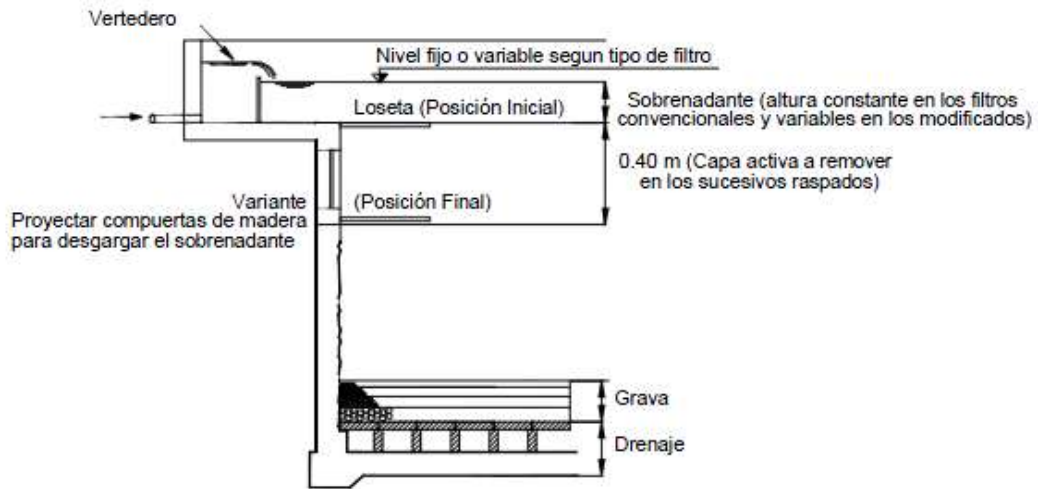
- Regular los caudales de ingreso.

Hay que preparar compuertas y válvulas para esa finalidad.

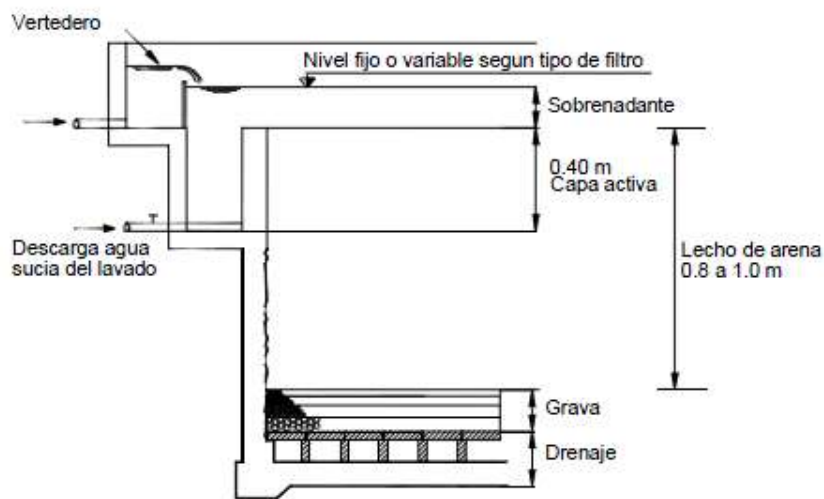




En la siguiente figura hay un detalle de estructura de ingreso del líquido crudo.



a)



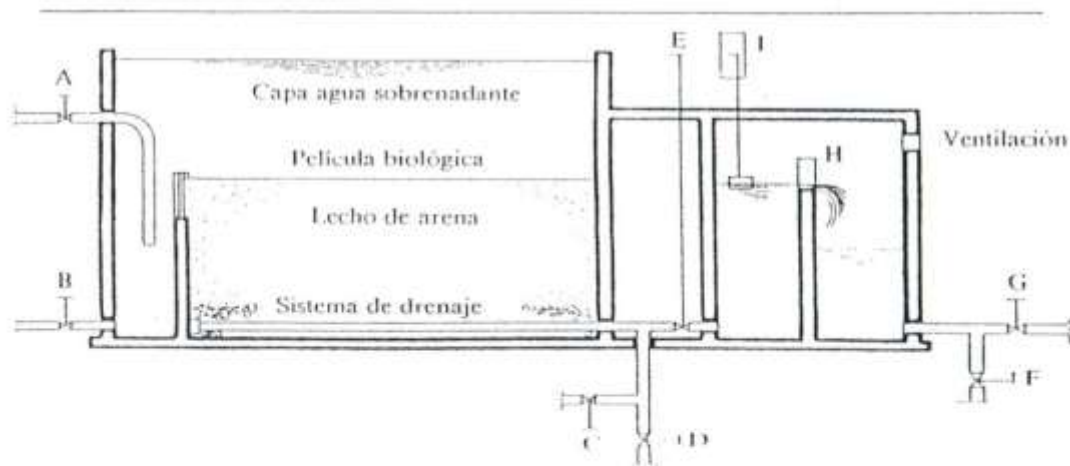
b)

**Figura 4. Sistema de ingreso al filtro lento de arena.**



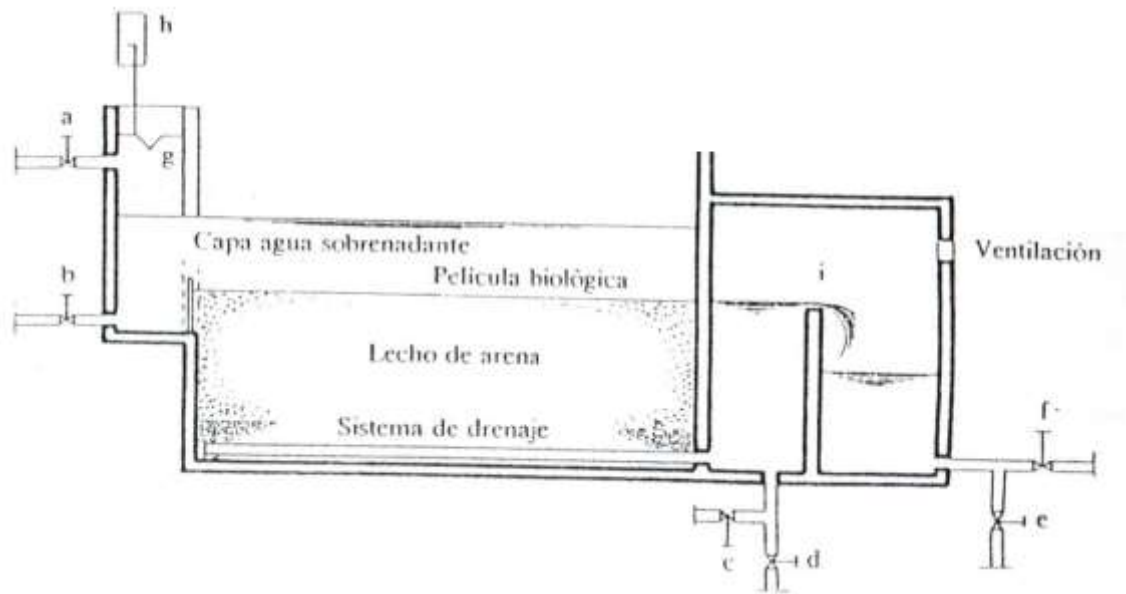
Consta de canales o conductos de acceso para medición de flujo y una caja exterior a la caja del filtro que permite el flujo del agua hacia el filtro, sin dañar la biomembrana que yace sobre la parte superior del lecho de arena.

A continuación se detalla los componentes básicos de un filtro lento de arena con control a la entrada y salida.



- A: válvula de entrada de agua cruda.
- B: válvula para drenar la capa de agua sobrenadante.
- C: válvula para llenar el lecho filtrante con agua limpia.
- D: válvula para drenar el lecho filtrante y la cámara de salida.
- E: válvula para regular la velocidad de filtración.
- F: válvula para desechar agua tratada.
- G: válvula para suministrar agua tratada al depósito de agua limpia.
- H: vertedero de salida.
- I: indicador calibrado de flujo.

**Figura 5. Componentes básicos de un filtro lento de arena con control a la salida.**



- a: válvula para dar entrada al agua cruda y regular la velocidad de filtración.
- b: dispositivo para drenar capa de agua sobrenadante.
- c: válvula para llenar lecho filtrante con agua limpia.
- d: válvula para drenar el lecho filtrante y cámara de salida.
- e: válvula para desechar agua tratada.
- f: válvula para suministrar agua tratada al depósito de agua limpia.
- g: vertedero de entrada.
- h: indicador calibrado de flujo.
- i: vertedero de salida.

**Figura 6. Componentes básicos de un filtro lento de arena con control a la entrada.**

### 2.2.1.3 CAPA DE AGUA SOBRENADANTE

La capa de agua sobrenadante proporciona una carga hidráulica que es suficiente para hacer pasar el agua a través del lecho del material filtrante, a la par que crea un periodo de retención de varias horas para el agua, en este periodo las partículas se asientan y/o aglomeran, pueden también someterse a cualquier proceso físico o bioquímico. Se debe tener en cuenta que no se debe



considerar este reservorio como un sedimentador si el agua cruda tiene un contenido alto de materia en suspensión, se deberá instalar una unidad de pretratamiento para prevenir la obstrucción del filtro de arena.

La profundidad apropiada para la capa de agua sobrenadante se encuentra entre 0,80 y 1,0 m y varía dependiendo del tipo de control. (Ver figura #1).

Las paredes del reservorio de agua sobrenadante deben tener altura suficiente como para dejar un borde libre de 0.2 a 0.3 m sobre el nivel de agua. El reservorio debe contar con un vertedero de derrame o rebose que drene excesos de agua y la retorne a la fuente de agua cruda.

#### **2.2.1.4 SALIDA DE IMPUREZAS FLOTANTES**

Se necesita un dispositivo para extraer las impurezas, que pueden formarse de hojas, algas y demás material flotante en la capa de agua. Este dispositivo también puede servir como un rebosadero para el agua sobrenadante y para drenarla cuando se requiere sacar de servicio la unidad para mantenimiento y limpieza.

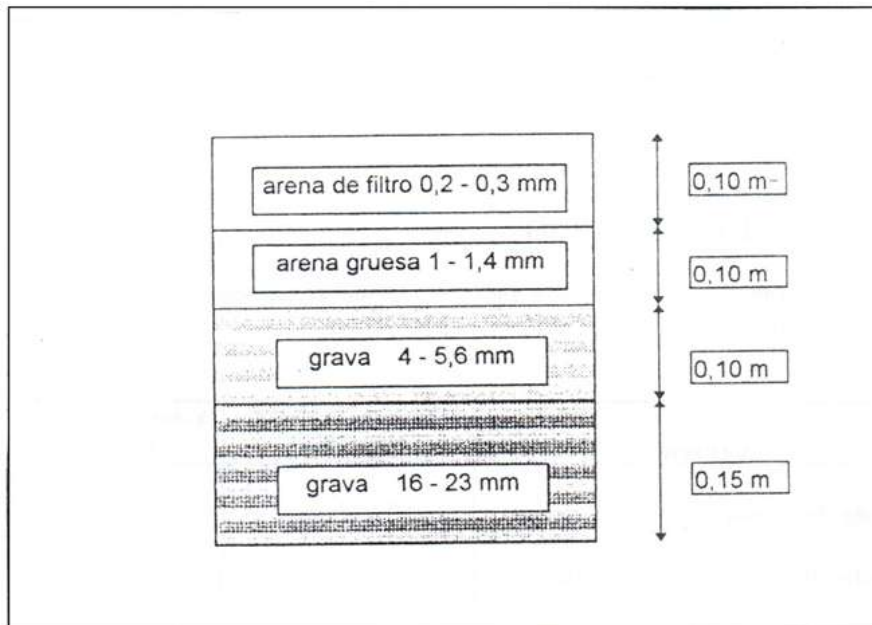
#### **2.2.1.5 LECHO DEL MEDIO FILTRANTE**

El medio filtrante debe estar compuesto por material granular inerte y durable, generalmente se selecciona arena porque es barata, inerte, duradera y de fácil obtención. Cuando se coloca en el filtro, la arena debe estar libre de arcilla, tierra y materia orgánica.

El medio filtrante se describe en función de su diámetro efectivo y su coeficiente de uniformidad. Normalmente se elige un tamaño efectivo en un rango de 0.15 a 0.35 mm. Cuando no hay disponibilidad de arena natural con estas características, el valor deseado del tamaño efectivo puede obtenerse mezclando dos tipos de arena. Se puede usar el tamizado como último recurso.

De preferencia, el coeficiente de uniformidad debe ser menor de 2, aunque pueden aceptarse valores hasta de 5. Para un funcionamiento adecuado del proceso de purificación se debe proporcionar un lecho filtrante de 0.6m como mínimo.

En vista de que la capa superior del lecho filtrante necesitara ser cambiada regularmente durante la operación, un filtro nuevo debe estar provisto de un lecho filtrante de 1-1.4 m de espesor de forma que el lecho no necesite rellenarse más de una vez cada varios años.



**Figura 7. Medidor o lecho de soporte.**

### 2.2.1.6 SISTEMA DE DRENAJE

El sistema de drenaje sirve para tres propósitos:

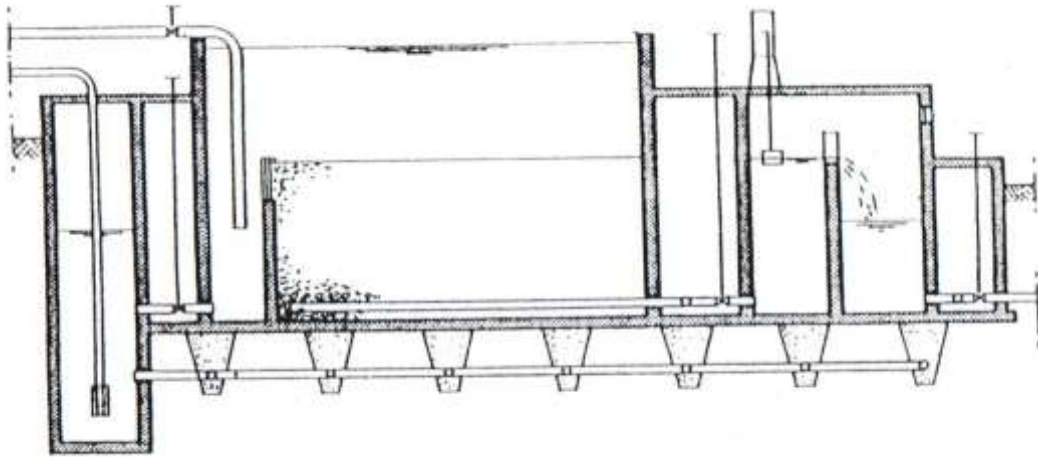
- Soporta el material filtrante e impide que sea arrastrado a través del sistema de drenaje de modo que se asegure una velocidad de filtración uniforme sobre toda el área del filtro.
- Asegurar la recolección uniforme del agua filtrada, a través de toda el área de filtración.
- Permite el llenado ascendente de los filtros, bien sea en su arranque inicial o después de raspados los módulos.

El sistema de drenaje puede tener diversas configuraciones, ya sea una capa de grava gruesa o de piedra triturada durable, o estructuras de drenes principales y laterales construidas de tuberías perforadas o separadas, bloques o ladrillos de concreto. Este sistema de drenes está cubierto por capas de grava.

La grava se tiende en capas, comenzando con los granos mayores en el fondo y reduciendo progresivamente el diámetro hacia arriba. La grava impide que el material granular del lecho del filtro se acarreado hacia el sistema de drenaje.



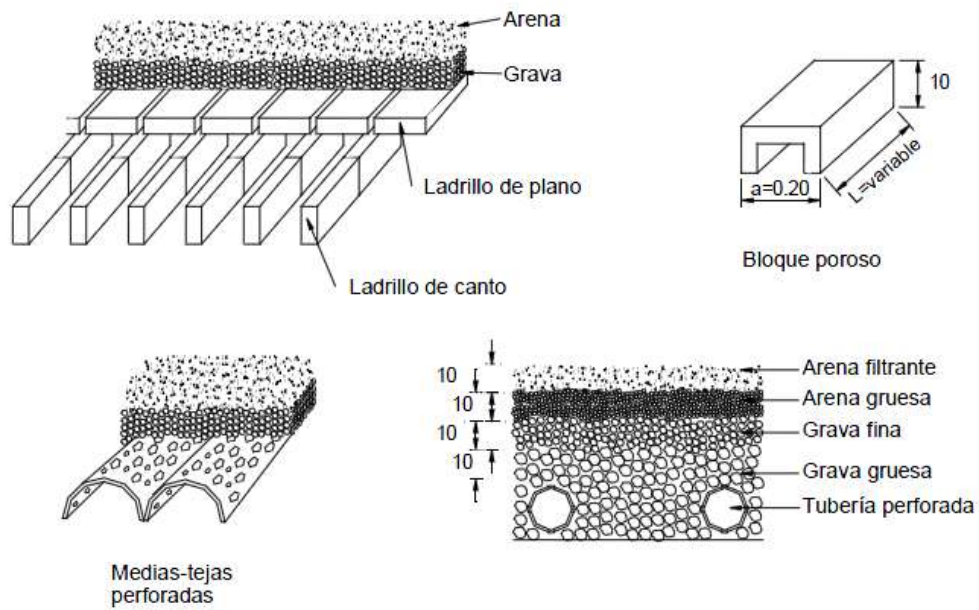
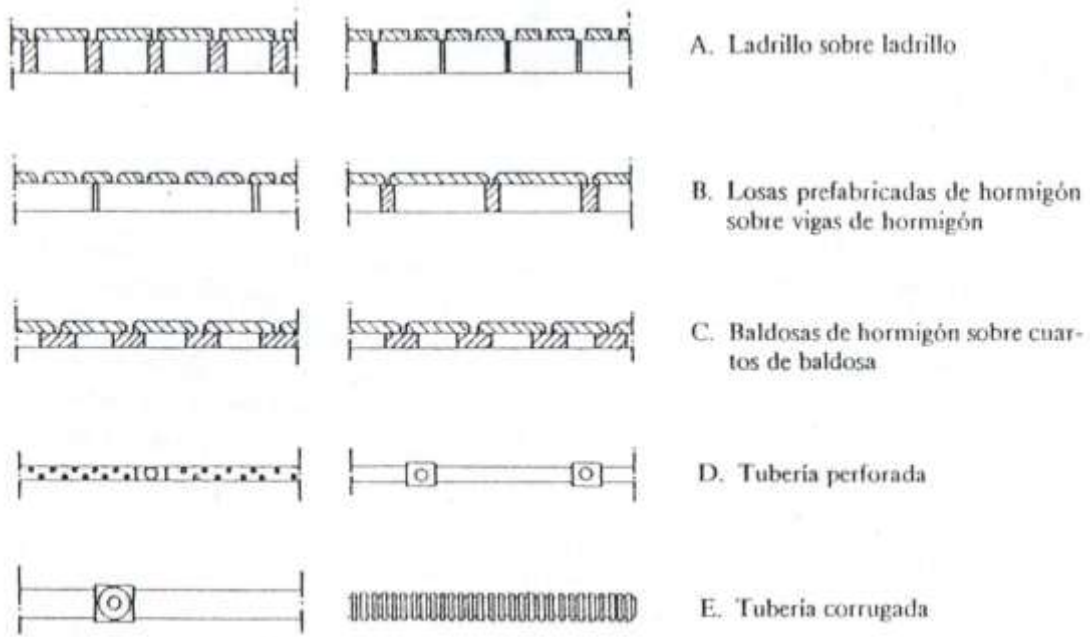
Incluidas las capas de grava, el sistema de drenaje debe tener un espesor de 0.4 a 0.7 metros.



**Figura 8. Sistema de drenaje debajo de la caja del filtro.**



**TIPOS DE SISTEMAS DE DRENAJE**



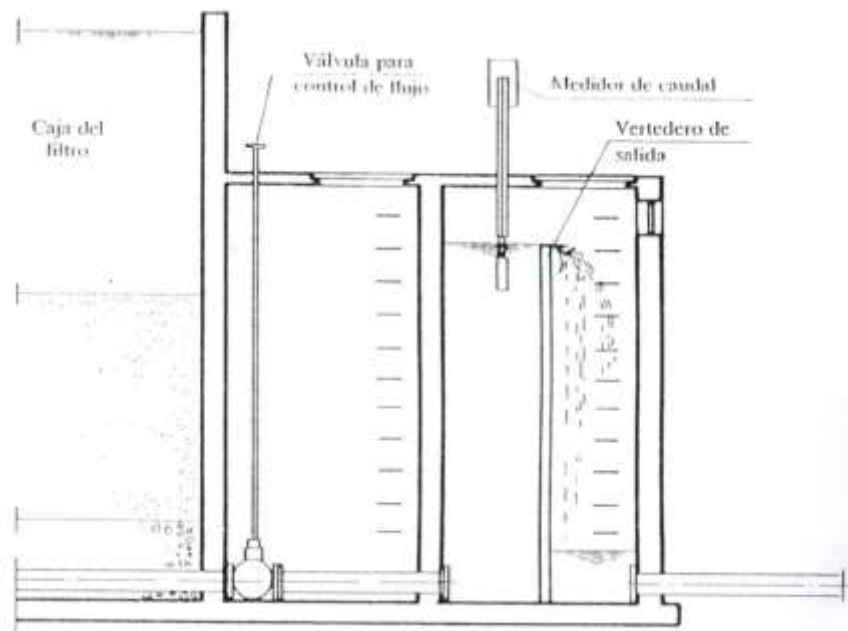
**Figura 9. Sistemas comunes de drenaje utilizados en filtros lentos de arena.**



### 2.2.1.7 CÁMARA DE SALIDA

La cámara de salida generalmente consta de dos secciones separadas por una pared, en cuya parte superior se coloca un vertedero con rebosadero ligeramente por encima de la parte superior del lecho de arena (10-15 cm). Este vertedero previene el desarrollo de una presión inferior a la atmosférica en el lecho filtrante, pues ello podría dar lugar a la formación de burbujas de aire debajo de la capa biológica. El vertedero también asegura que el filtro funcione independientemente de las fluctuaciones en el nivel del tanque de agua clara.

Al permitir la caída libre del agua sobre el vertedero, se aumenta la concentración de oxígeno en el agua filtrada, por cuyo motivo la cámara del vertedero debe estar debidamente ventilada para facilitar la aireación.



**Figura 10. Estructura de salida de un filtro con control a la salida.**

### 2.2.1.8 DISPOSITIVOS DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL FILTRO.

Se mencionan a continuación las operaciones más importantes a ser reguladas y controladas por medio de válvulas, vertederos y otros dispositivos.

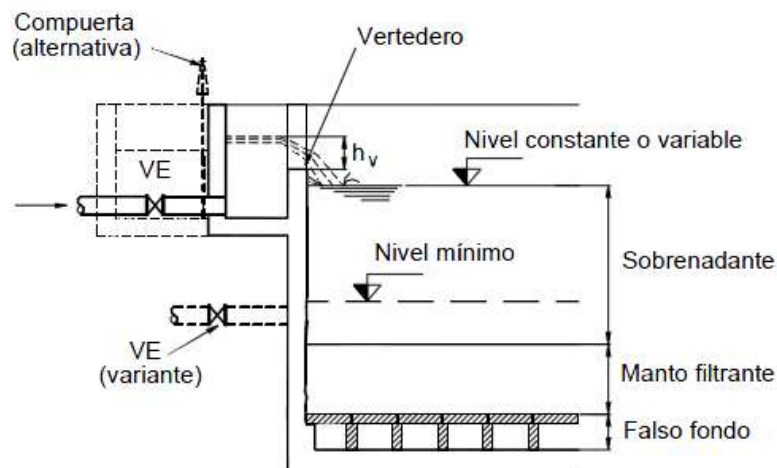
- Entrada de agua cruda al reservorio de agua sobrenadante hasta un nivel constante dentro del tanque del filtro.
- Eliminación del exceso de agua por medio de un vertedero.
- Drenaje del agua sobrenadante antes de efectuar la limpieza del filtro.
- Drenaje del agua en la capa superior del lecho filtrante.



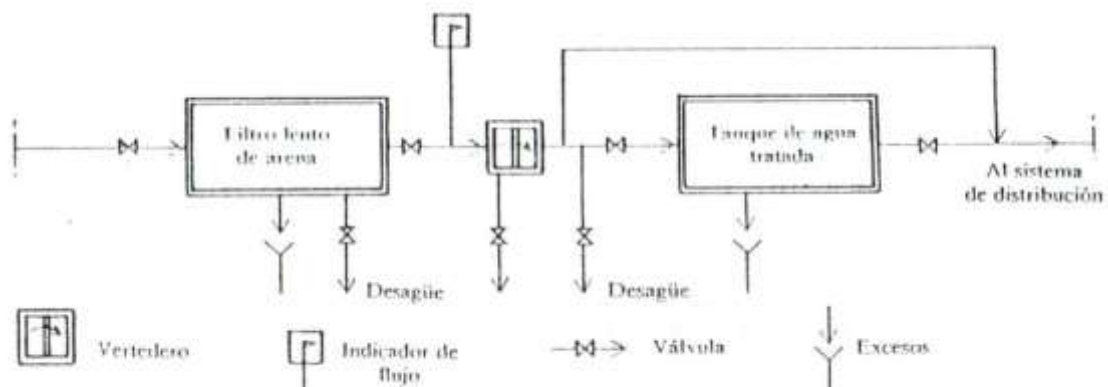


- Medida del caudal del agua efluente por medio de un dispositivo calibrado de medición de caudal.
- Regulación de la tasa de filtración.
- Ingreso de agua limpia para llenar en forma ascendente el lecho filtrante después de efectuar la limpieza del filtro.
- Dispositivo de prevención de presiones negativas en el lecho filtrante.
- Descarga del agua tratada al tanque de almacenamiento de agua tratada.

Los materiales de construcción comúnmente usados son hormigón simple o armado, ferrocemento, piedra natural o ladrillo. La caja del filtro, el canal de efluente y el tanque de almacenamiento de agua filtrada deben ser herméticos por dos razones: para evitar pérdidas de agua y, en caso de tener nivel freático alto, para prevenir el ingreso de agua subterránea que pueda contaminar el agua tratada.



**Figura 11. Control manual con vertedero y válvula o compuerta.**



**Figura 12. Diagrama de flujo para la instalación de un filtro lento de arena.**



## 2.2.2 ASPECTOS TECNICOS

### 2.2.2.1 LECHO FILTRANTE

El medio filtrante debe estar compuesto por granos de arena duros y redondeados, libres de arcilla y materia orgánica. La arena no debe contener más de 2% de carbonato de calcio y magnesio. Experimentalmente se ha encontrado que el diámetro efectivo de la arena debe ser del orden de 0.15 a 0.35mm. La profundidad del lecho puede variar entre 0.50 y 1.00 m, pudiendo el filtro operar con un espesor mínimo de 0.30 m. El coeficiente de uniformidad puede ser menor de 3.0, se recomienda un rango de 1.8 a 2.0. En última instancia, cualquier material inerte puede utilizarse como medio filtrante.

La capa soporte debe reunir características similares a las indicadas para la arena. Debe considerarse una altura mínima de 0.30 m de grava dispuesta en tres capas de diferente granulometría. La grava más fina debe seleccionarse, teniendo en cuenta el tamaño de los granos de arena y la más gruesa de acuerdo al tamaño de los orificios del drenaje. La tabla #1 sintetiza las recomendaciones al respecto, indicando para cada capa límites máximos y mínimos para arenas finas y gruesas.

Capas	Diámetros mínimos (mm)	Diámetros máximos (mm)	Altura (cms)
1	0.5 - 2.0	1.5 - 4.0	5
2	2.0 - 2.5	4.0 - 15.0	5
3	5.0 - 20.0	10.0 - 40.0	10

**Tabla 1. Granulometría de la capa soporte.**

### 2.2.2.2 DRENAJE

El drenaje puede estar conformado por drenes o por ladrillos de construcción. Los tubos de drenaje están compuestos de un dren principal y ramificaciones o drenes laterales. Los drenes laterales se unirán al principal mediante tees o cruces y podrán ser de concreto, de cerámica o de PVC. Los drenes laterales se instalarán dejando juntas abiertas de 2cms. o se perforarán orificios de 2 a 4



mm de diámetro, separados de 0.10 a 0.30 m centro a centro y dispuestos en la parte inferior de los drenes. La separación entre los drenes laterales debe ser de 1/16 de su longitud o como máximo de 2.5 m. Con respecto a la pared, se considerará una separación de 1/32 de su longitud o como máximo de 1.25 m.

El dimensionamiento de los drenes se efectuará con el criterio de que la velocidad límite en cualquier punto de estos no sobrepase de 0.30 m/s. La relación de velocidades entre el dren principal ( $V_p$ ) y los drenes secundarios ( $V_s$ ) debe ser de:  $V_p/V_s < 0.15$ , para obtener una colección uniforme del agua filtrada. La pérdida de carga producida por los drenes no debe exceder de un 10% de la pérdida de carga del medio filtrante, cuando la arena está limpia y su altura es mínima. Puede estimarse mediante la siguiente ecuación:

$$h = 0.33 l \frac{1}{d_h} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Siendo

- ( $l$ ) el coeficiente de fricción de Colebrook,
- ( $d_h$ ) el diámetro hidráulico
- ( $v$ ) la velocidad del dren
- ( $d_h = 4Ad/p$ ).

En los drenajes de ladrillo, los bloques que van sobre el fondo de la caja del filtro deben asentarse con mortero y los que techan los canales se colocarán dejando separaciones o aberturas de 2 cms para que pase el agua filtrada. Se deben proyectar, por lo menos, dos unidades funcionando en paralelo, para poblaciones de menos de 2,000 habitantes. En poblaciones mayores se decidirá el número de unidades, teniendo en cuenta el tamaño máximo de 50 m<sup>2</sup> para que sea factible completar el mantenimiento en 24 horas.

### 2.2.2.3 VELOCIDAD DE DISEÑO

La velocidad de diseño también es importante al decidir el número de unidades. Con velocidades mayores de 0.30 m/h deberá considerarse un mínimo de tres unidades.

El área de cada unidad ( $A_s$ ) es una función de la velocidad de filtración ( $V_f$ ), del caudal ( $Q$ ), del número de turnos de operación ( $C$ ) y del número de unidades ( $N$ ).  $A_s = Q \cdot C/N \cdot V_f$ . Con operación continua el área de la unidad será igual a  $A_s = Q/N \cdot V_f$ .



Cuando el filtro lento es la única unidad de tratamiento, la velocidad será de 0.10 m/h. Se podrán considerar velocidades mayores, cuando se consideren otros procesos preliminares.

Procesos	Vf (m/h)
Filtración lenta (FL)	0.10 - 0.20
Sedimentación (S) o prefiltración (PF) + FL	0.15 - 0.30
S + PF + FL	0.30 - 0.50

**Tabla 2. Velocidad de filtración de acuerdo al número de procesos preliminares.**

La altura del agua sobre el lecho filtrante puede variar entre 1.0 y 1.50 m.

Se interconectarán las unidades a través de la cámara de salida para efectuar el llenado ascendente del filtro.

Cuando se tenga suficiente presión en el afluente al filtro, se podrá implementar la limpieza por el método de "trillado". Para esto, deberá considerarse un ingreso de agua tratada (o por lo menos prefiltrada por el fondo de la unidad, un canal de recolección de agua de limpieza y su correspondiente válvula de evacuación.

Las paredes interiores de la caja, en el tramo ocupado por el lecho filtrante, deberán presentar acabado rugoso para impedir la producción de cortocircuitos.

El nivel mínimo del filtro se controla mediante el vertedero de salida, el cual se debe ubicar en el mismo nivel o 0.10 m. por encima de la superficie del lecho filtrante.

El control de nivel máximo dentro de la caja del filtro se efectúa mediante un vertedero de alivio ubicado sobre las cámaras de desagüe.

Considerar una plataforma colindante con los filtros, para efectuar la operación de lavado y secado de la arena.

Deberá considerarse una unidad para lavar la arena y un depósito techado para guardar la arena embolsada y las herramientas.



Cercar las instalaciones de la planta para evitar el acceso a niños y animales.

#### **2.2.2.4 OTROS ASPECTOS TÉCNICOS**

- Las cámaras de los filtros podrán ser de concreto simple, concreto reforzado, o mampostería de ladrillo o piedra, con recubrimiento de mortero impermeable.
- La sección de los filtros podrá ser de forma rectangular o circular y las paredes verticales o inclinadas.
- Las juntas de construcción y/o dilatación deberán ser estancas.
- Se deberá incrementar la rugosidad de la pared en contacto con el medio filtrante para evitar las líneas de flujo o cortos circuitos entre el material filtrante y las paredes verticales del filtro.
- La cimentación y losa de fondo no deben presentar fisuras causadas por asentamientos diferenciales del terreno.
- Preferentemente, los trabajos deben iniciarse durante el periodo seco porque facilita la excavación, preparación de concretos y fraguado de mezclas.
- El medio filtrante utilizado será limpio y libre de material orgánico.
- Las estructuras de entrada y de salida deben incluir los dispositivos para regular el flujo, distribuir y recolectar el agua, y controlar el nivel de agua en el filtro.
- Las estructuras deben estar dotados de los elementos necesario que permitan un rápido y seguro drenaje del agua de lavado.
- Se emplearán válvulas de apertura rápida para la limpieza hidráulica del filtro y el desagüe completo de las unidades. Las válvulas de apertura rápida pueden ser de tipo bola o mariposa de diámetro igual al de la tubería de drenaje principal; bajo toda circunstancia deben ser herméticas, simples de operar y mantener, y resistentes a la corrosión.
- Las cámaras donde se alojan los dispositivos para la operación, mantenimiento y limpieza deben permitir el fácil acceso y tener el espacio suficiente para la maniobrabilidad del operador.

#### **2.2.3 VENTAJAS DE LOS FILTROS LENTOS**

Como se describe a continuación las ventajas de este tipo de tratamiento hacen que sea especialmente indicado para zonas rurales.

La filtración lenta en arena tiene muchas ventajas:



- Mejora simultánea en la calidad física, química y bacteriológica del agua, con un número de ventajas especiales para los países en desarrollo tales como el nuestro.
- La eficacia en la eliminación de bacterias totales es igual que en los filtros rápidos.
- No se necesitan compuestos químicos.
- La operación y mantenimiento pueden ser llevados a cabo por mano de obra semiespecializada.
- El proceso de filtración es llevado a cabo por gravedad; no hay otras partes mecánicas que precisen de energía para funcionar.
- El manejo de lodos no causa problemas; las cantidades de lodos son pequeñas tiene muy alto contenido de materia seca.
- La mayor ventaja de esta unidad reside en su simplicidad. El filtro lento sin controlador de velocidad y con controles de nivel mediante vertederos es muy sencillo y confiable de operar con los recursos disponibles en el medio rural de los países en desarrollo.
- No hay cambios organolépticos en la calidad del agua.
- Las comunidades aceptan el agua tratada por la FLA.
- No existe otro método que consiga un tratamiento del agua tan efectivo sin aplicar un tratamiento físico, químico o bacteriológico agresivo.
- Sencillo diseño y bajo coste en los materiales que se puede rebajar aún más utilizando técnicas locales y personal de la propia comunidad. El acceso a la arena necesaria y a las protecciones contra el frío son los dos conceptos que se tienen que tener en cuenta para no encarecer demasiado la obra.
- El mantenimiento es muy conveniente que sea asumido por la comunidad, ya que es una tarea que se debe hacer para que el filtro funcione correctamente.
- No existe la posibilidad de contaminar cursos de agua cercanos, ya que no se utiliza elementos químicos. Además los lodos se pueden usar como fertilizantes naturales para los cultivos.

### **2.2.3.1 VENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA BIOLÓGICA**

La filtración biológica presenta notables ventajas respecto a los demás sistemas, como ser: oxidación con medios químico-físicos (cloro, bióxido de



cloro, ozono, permanganato, rayos ultravioletas), intercambio iónico, adsorción:

a) es un proceso natural: los filtros biológicos, en condiciones favorables, a menudo se instauran naturalmente en el terreno.

b) tratándose de un proceso natural, una vez cumplidas las condiciones necesarias para su mantenimiento, garantiza una completa seguridad de explotación, que los procesos químico-físicos no siempre ofrecen, especialmente porque éstos últimos forman subcompuestos que no se identifican fácilmente y son difíciles de reducir, cuyos efectos en el organismo humano, todavía no se conocen completamente.

c) presenta costes de explotación irrelevantes y, por lo tanto, en un mundo que se orienta hacia el ahorro energético, es ampliamente justificado.

#### **2.2.4 RESTRICCIONES**

El filtro lento solo no debe operar con aguas con turbiedades mayores a 20 ó 30 UNT, esporádicamente se pueden aceptar picos de 50 a 100 UNT.

La eficiencia de esta unidad se reduce a temperaturas inferiores a los 4°C.

La presencia de biocidas o plaguicidas en el afluente pueden modificar o destruir el proceso microbiológico que sirve de base a la filtración lenta.

Existen algunos casos en los que se tiene que estudiar más detalladamente la utilización de este sistema para mejorar la calidad del agua a tratar e incluso descartarlo.

Estos son los siguientes:

1. En los casos en los que es limitado el acceso a arena apta para el filtro. También puede suceder que se deba comprar la arena y resulte excesivamente cara.
2. En países donde haya un desarrollo tecnológico elevado en la construcción es más recomendable utilizar otro sistema.
3. Si no es posible contratar mano de obra especializada, probablemente sería más recomendable implantar una limpieza automática.
4. En zonas con inviernos muy fríos, se tendrán que instalar protecciones contra el frío.



5. Cambios bruscos en el agua de entrada pueden producir alteraciones en el funcionamiento normal del filtro.

6. Ciertas algas pueden consumir demasiado oxígeno. Puede ser conveniente tapar los filtros para que no se formen este tipo de algas. De todas maneras, otras algas son beneficiosas.

De los casos descritos, los cinco primeros se refieren básicamente a países o zonas industrializadas.

## **2.3 PROCESO DE DISEÑO**

El diseño de un proyecto de filtración lenta en arena consta en dos etapas básicas en su proceso; en la primera fase se busca:

- Precisar la capacidad del sistema de almacenamiento.
- Aprovechar la infraestructura de abasto existente.
- Identificar la alternativa de pretratamiento que se va a proyectar.
- Estimar los costos de construcción, operación y mantenimiento.

Los resultados obtenidos en esta primera fase pueden utilizarse como base para captar recursos, planear y organizar el proyecto.

La segunda fase, se orienta a:

- Conceptualización y ejecución del diseño estructural.
- Definición de especificaciones técnicas tanto de materiales como de equipos utilizados en el diseño.

### **2.3.1 COMPONENTES PRINCIPALES**

Para diseñar un sistema de abastecimiento de agua, se debe definir la capacidad de la planta, es decir, la cantidad de agua requerida por día o por demanda máxima. Este parámetro depende de factores como periodo de diseño, número de usuarios, cantidad a suministrarse por persona, este estudio no será realizado este documento debido a que nuestro estudio está orientado hacia los componentes de los filtros.

Una vez definido el tratamiento requerido y la demanda promedia diaria, se pueden determinar los componentes principales del sistema y sus dimensiones

#### **2.3.1.1 CAPTACIÓN DE AGUA CRUDA Y BOMBEO**

En sistemas de abastecimiento de agua por gravedad, la captación se diseña para funcionar 24 horas. En sistemas que utilizan bombas, el tiempo de funcionamiento oscila entre 8 a 16 horas por día, dependiendo el tamaño de la comunidad, energía eléctrica y mano de obra o combustible.





### 2.3.1.2 TANQUE DE COMPENSACIÓN DE AGUA CRUDA

Si el sistema no se diseña para operación continua, es aconsejable el uso de un tanque de compensación de agua cruda, así aseguramos la operación continua del filtro.

### 2.3.1.3 UNIDAD DE PRETRATAMIENTO

Esta unidad debe operar de preferencia 24 horas al día con flujo a gravedad, si es con bombas se debe tratar el agua antes de ser bombeada, o usar un tanque de compensación para evitar operación intermitente.

### 2.3.1.4 FILTROS LENTOS DE ARENA

Los criterios de diseño de los filtros lentos de arena se indican en las tablas #3 y #4. A una velocidad de filtración de 0,1m/h, un filtro que funcione continuamente producirá 2,4 m<sup>3</sup> de agua por día por m<sup>2</sup> de superficie de lecho filtrante. Así el área total requerida puede determinarse dividiendo por 2,4 la demanda diaria de diseño. Esta área debe dividirse en varias unidades. Este número depende de varias consideraciones:

- Se requieren por lo menos dos módulos que permitan una operación segura y continua y para poder realizar limpieza alternadamente. Una indicación del número adecuado de unidades rectangulares puede obtenerse con la expresión

$$n = 0.5 \sqrt[3]{A}$$

Dónde:

n = número total de unidades rectangulares.

A = área superficial total.

- El tamaño máximo del lecho filtrante en áreas rurales es inferior a 100m<sup>2</sup>, esto posibilita su limpieza en un día.
- El tamaño mínimo del lecho filtrante debe ser de 5 m<sup>2</sup>. Sin embargo hay filtros que han funcionado correctamente con áreas menores a 1m<sup>2</sup>, siempre y cuando el agua cruda no fluya directamente por el interior de las paredes del filtro hacia el sistema de drenaje sin ser filtrada.



Tabla Criterios generales de diseño para filtros lentos de arena que abastecerán zonas rurales:

Criterios de diseño	Valores recomendados
Período de diseño	10 - 15 años
Periodo de operación	24 h/d
Velocidad de filtración	0,1 - 0,2 m/h
Area superficial del filtro	5 - 20 m <sup>2</sup> por filtro, mínimo 2 unidades
Altura del lecho filtrante:	
Inicial	0,8 - 0,9 m
Mínima	0,5 - 0,6 m
Especificación de la arena:	
Tamaño efectivo	0,15 - 0,30
Coeficiente de uniformidad	< 5 preferiblemente
Altura de drenaje incluyendo capa de grava	0,3 - 0,5 m
Altura de agua sobrenadante	0,8 - 1,0 m

Criterio	Valores recomendados CINARA	Valores Utilizados ETAPA
Periodo de diseño	10 a 15 años	
Periodo de operación horas / día	24	24
Velocidad de Filtración	0,1 - 0,2 m/h	0,1 - 0,2 m/h
Área superficial del filtro	5 - 20 m <sup>2</sup> por filtro	0,64 m <sup>2</sup>
Altura del lecho filtro:		
Inicial	0,8 - 0,9 m	1,0 m



Mínima	0,5 - 0,6 m	0,5 - 0,6 m
Especificaciones de la arena:		
Tamaño efectivo	0,15 - 0,30 mm	0,30 mm
Coefficiente de uniformidad	< 5 preferiblemente	2,3
Altura de sobrenadante de agua	0,8 - 1,0 m	0,9 m
Altura de drenaje incluyendo capa de grava	0,3 - 0,5 m	0,45 m

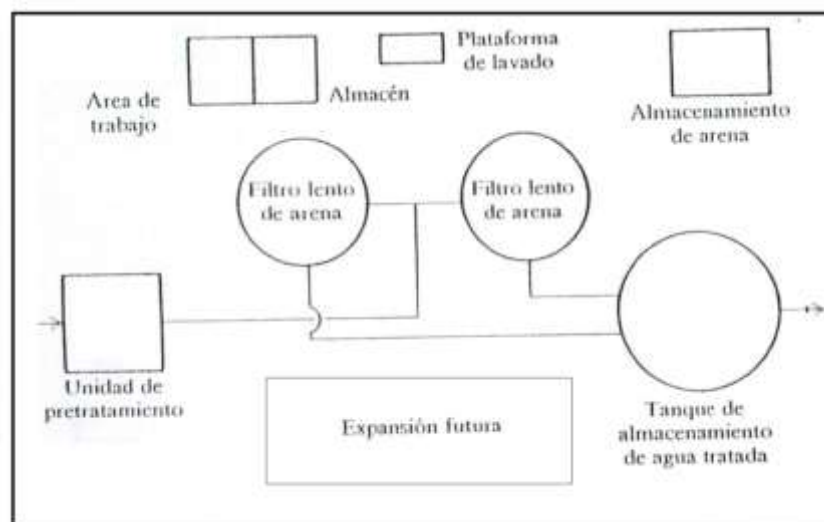
**Tabla 3 y Tabla 4. Criterios generales de diseño para filtros lentos de arena.**

### 2.3.1.5 ALMACENAMIENTO Y BOMBEO DE AGUA TRATADA

El agua tratada es conducida hasta un tanque de almacenamiento a partir del cual se distribuye o bombea a uno o varios tanques de distribución. Si el agua se suministra por gravedad, el tanque de almacenamiento debe tener la capacidad que compense las variaciones de demanda y almacenar el caudal continuo proveniente de los filtros.

### 2.3.1.6 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

El horario de distribución debe estar diseñado para satisfacer la demanda máxima horaria en la comunidad. Un almacenamiento descentralizado dentro del sistema de distribución genera una mejor distribución de flujo y presión y contribuye a reducir costos, ya que se usan tuberías de menor tamaño.



**Figura 13. Posible disposición de una planta de tratamiento de agua.**



### **2.3.2 PREDISENO**

Muchos factores influyen en la selección de filtros lentos de arena, factores como:

- características de la fuente de agua: caudal y calidad.
- características de la comunidad: afectan la demanda y patrones de uso.

Otros factores comunes a la mayoría de proyectos de ingeniería deben tomarse en cuenta, estos incluyen planeamiento de las instalaciones, planes de financiamiento, comparación de costos de filtración con arena y otras alternativas, especificaciones técnicas y planos ingenieriles, inspección en la construcción entre otros.

#### **2.3.2.1 CONDICIONES REQUERIDAS PARA FILTRACION LENTA CON ARENA**

Los factores determinantes para la selección de filtros lentos con arena son la calidad de la fuente de agua y el tamaño de la comunidad.

##### **CALIDAD DEL AGUA**

La calidad del agua cruda determina el tiempo entre raspados de la arena. La filtración lenta con arena está limitada a aguas crudas que permitan tiempos de funcionamiento largos. El tiempo de funcionamiento disminuye debido a varios tipos de partículas que causan pérdida de carga, incluyendo sedimentos minerales, restos orgánicos, bacterias y otros microorganismos. Cuando la turbiedad es alta, serán más probables que se den periodos de funcionamiento cortos.

Es importante el desarrollo de pruebas piloto durante el ciclo anual para determinar el periodo de tiempo de funcionamiento. Si este es mayor que 30 días, entonces la tecnología de filtros lentos de arena será considerada. Si es menor a 30 días no se descartara el uso de la misma pero se realizara estudios con mayor cuidado.

Otra preocupación, tiene que ver con ocurrencia de niveles de alta turbiedad en ciertos periodos del año, causados por intensas lluvias o escorrentía superficial. Estos niveles de turbiedad se permiten hasta 30 NTU, pero pueden alcanzar hasta 300 o 1000 NTU. Como consecuencia el filtro puede fracasar debido a capas de sedimentos excesivos, por lo que será necesario realizar mayor número de raspados de arena, esto será tolerado si la ocurrencia de estos eventos son poco frecuentes.



La tabla #5 resume las guías de calidad de agua para la selección de filtros lentos de arena. Usualmente la filtración lenta con arena es más adecuada para aguas crudas con baja turbiedad, que generalmente se asocian con niveles bajos de contaminación. Algunos de los constituyentes listados en la tabla no son removidos por filtración lenta con arena (como el color), o pueden causar problemas en la operación (como algas y presencia de hierro).

Constituyente	Porcentaje de remoción	Guías	Comentarios
Color verdadero	25%	5-10 Pt-Coa	la remoción depende en la biopelícula del filtro
TOCb	25%	ninguno	
Turbiedad	27-39%	<10NTU	F.L.A apropiado
		>25NTU	se recomienda
		10-50NTU	pretratamiento
		50-120NTU	pretratamiento
Coliformes	2 log a 4 log	ninguno	tolerancia limite
Algas		<5 mg/m <sup>3</sup>	planta piloto
Hierro		ninguno	taponamiento potencial

**Tabla 5. Guías de calidad de agua para selección de filtración lenta con arena.**

#### TAMAÑO DE LA COMUNIDAD

El uso de filtros lentos de arena es apropiada en comunidades “pequeñas”. La motivación para el uso de estos es su bajo costo anual más la operación confiable y efectiva. El tamaño de la comunidad determina si el uso de filtros lentos de arena es lo más apropiado. En determinado tiempo, para el tamaño de la población el uso de F.L.A será más costoso que el uso de filtración rápida, pero además hay que entender que a medida que crece la población crecerán también sus ingresos y tecnologías y la operación con filtros rápidos será más accesible.

La escala económica para el uso de filtros lentos con arena es un servicio de agua a más de 25 personas, una estructura de este pequeño tamaño se podrá



construir por trabajadores locales con la supervisión de un ingeniero civil. La operación de raspado se podrá realizar por una persona. El límite superior de población para el uso económico de F.L.A dependerá de la situación en la que se encuentre.

#### **RENDIMIENTO REQUERIDO**

Los requisitos para la filtración lenta con arena, establece una turbiedad estándar de  $\leq 1$  NTU en el 95% del tiempo, con lecturas no mayores a 5 NTU. Es un requisito que un desinfectante residual  $\geq 0,2$  mg/lit. sea mantenido. La combinación de filtración y desinfección debe lograr la remoción de  $\geq 4$ -log de virus.

El uso de fuentes de agua con buena calidad sería lo más aconsejable para la filtración lenta con arena. Cuando esta se selecciona para condiciones marginales, es necesario el estudio de planes piloto para establecer el potencial de la planta para remover los contaminantes de interés.

#### **PROCESO DE PRETRATAMIENTO**

Como antes mencionamos, el agua cruda tiene a menudo sus episodios de alta turbiedad que pueden reducir el tiempo de funcionamiento para un filtro lento con arena. En la fuente se puede alcanzar niveles de turbiedad de 30 NTU hasta 200 NTU.

Cuencas de sedimentación o filtros de desbaste pueden ser usados para atenuar los picos de turbiedad y extender el tiempo de funcionamiento del filtro. El mecanismo de remoción debe ser la sedimentación.

#### **CONCLUSIONES**

Un criterio ingenieril es necesario para determinar si una planta de filtración lenta con arena necesita incorporar unidades auxiliares al proceso de filtración. Si el pretratamiento es necesario, al añadir sedimentación u otros procesos de pretratamiento extenderá los casos en los que se podrá usar filtración lenta con arena.

#### **2.3.2.2 VARIACION DE CAUDAL**

Antes de poder diseñar el sistema de filtración, la demanda de agua tratada debe ser cerciorada para el ciclo anual y el ciclo diario de consumo de agua. La demanda proyectada a un futuro debe ser también determinada. Además, cualquier característica única diaria o por temporada que varíe el caudal debe ser tomada en cuenta.



### **2.3.2.2.1 ANÁLISIS DE CAUDAL**

#### **CICLO ANUAL**

La demanda de caudal varía a lo largo del ciclo anual de acuerdo a características de la comunidad. Comunidades con temperaturas templadas tendrán su más alta demanda de agua en el verano. Los cambios sobre el ciclo anual requieren ajustes periódicos al flujo influente al filtro lento de arena. Cada comunidad tendrá una curva única de demanda de agua anual.

#### **DEMANDA HORARIA**

El caudal de agua tratada varia en rango de 3 a 1 sobre el ciclo de demanda diaria y la demanda para el pico proyectado diario es 2.2 veces el pico actual. Por lo tanto el filtro lento de arena tendrá que ser diseñado para cumplir con las demandas pico proyectadas por día. La cama del filtro será dimensionada bajo la suposición de que el raspado de arena será echo en los días pico y que los filtros restantes podrán manejar adecuadamente el caudal necesario.

#### **CAUDAL DE OPERACIÓN FIJO EN BASE AL CICLO DIARIO**

Se usa una curva acumulativa de la demanda de caudal, la curva muestra la cantidad de agua almacenada que se necesita. La cantidad adecuado de almacenaje permite la operación del filtro bajo una producción de flujo estable. En otras palabras, el filtro puede operar con un caudal estable sobre el ciclo diario en donde el flujo necesario por horas es mayor.

#### **CAUDAL DE DISEÑO**

El caudal de diseño se basa sobre el caudal máximo diario proyectado.

### **2.3.2.2.2 ALMACENAMIENTO DE AGUA TRATADA**

El almacenamiento de agua tratada es una parte intrínseca de cualquier sistema de filtración. El propósito de tener un adecuado almacén de agua tratada es el de mantener un flujo estable durante la filtración. Con un caudal estable, se evita una reducción de la eficiencia del filtro y la operación pasiva es alcanzada.

## **2.3.3 DISEÑO**

### **2.3.3.1 PRINCIPIOS**

El efecto de variable independientes; tales como el tamaño de lecho filtrante, sistemas hidráulicos, recuperación de arena, diseño de la caja del filtro y desinfección, son las principales preocupaciones en el diseño.



### 2.3.3.1.1 DIMENSIONAMIENTO DEL LECHO FILTRANTE

El primer paso en el diseño es dimensionar el lecho. El área del lecho y su profundidad son las dimensiones básicas que manejan el resto del diseño. El área del lecho filtrante se determina mediante la tasa de carga hidráulica seleccionada.

#### ÁREA

El área del lecho filtrante es calculada por la ecuación siguiente:

$$HLR = \frac{Q}{A}$$

En donde:

HLR = tasa de carga hidráulica en sus siglas en inglés (Hydraulic Loading Rate)

Q = caudal (mil L/d)

A = are del lecho (m<sup>2</sup>)

Para determinar el área del lecho, uno primero tiene que determinar el caudal de diseño "Q" y un rango aceptable de "HLR".

#### ALMACENAMIENTO DEL AGUA TRATADA

La determinación del volumen de almacenamiento del agua tratada requerida se revisó en el prediseño.

#### PROFUNDIDAD DE LA ARENA

La profundidad de la arena en el lecho es determinada por el número de años de operación deseada antes de que sea necesaria una rearenación. Los años de operación se determinan por la siguiente ecuación:

$$Y = \frac{D_i - D_f}{R \times f(\text{raspado})}$$

Dónde:

Y= años de operación antes de que sea necesaria reconstruir el lecho de arena.

Di= profundidad inicial del lecho (cm).

Df= profundidad final antes de la reconstrucción (cm).

R= remoción de arena por raspado (cm).

f (raspado)= frecuencia del raspado (raspados/año).

#### EFFECTO DE LA PROFUNDIDAD DEL LECHO EN LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN.

La eficiencia de remoción del lecho de arena depende más de su madurez biológica que en su profundidad. Estudios han demostrado que la mayor parte de remoción se lleva a cabo dentro de pocos centímetros de la parte superior





del lecho, en donde la actividad biológica es la mayor. Se recomienda una profundidad mínima antes de la rearenación de 0.5-0.8 m.

### **2.3.3.1.2 HIDRÁULICA**

Numerosas decisiones de diseño son requeridas por los resultados de los análisis hidráulicos. Las funciones hidráulicas más importantes son:

- Distribuir el agua cruda sin erosionar el lecho filtrante.
- Recolectar el agua uniformemente del filtro.
- Drenar el agua cuando sea necesario el raspado.
- Proporcionar el desbordamiento en la caja del filtro.
- Para medir el caudal hacia el filtro y fuera de él.
- Controlar el caudal a través del filtro.
- Para medir pérdidas de carga a través del lecho filtrante.
- Proveer una variedad de necesidad de tuberías, tales como drenajes, conducciones, direccionar el caudal, llenado del lecho filtrante desde el fondo, etc.
- Evitar presiones negativas dentro del lecho filtrante.

### **DISTRIBUCIÓN**

Para controlar la erosión en el lecho filtrante, la energía cinética del caudal debe ser distribuida, disipada, o ambas. Debe haber una distribución del caudal de agua cruda a lo largo de la caja del filtro. Las tuberías laterales deben ser lo suficientemente largas para que la velocidad de salida del agua sea lo suficientemente baja. Debido a que un criterio de la distribución de flujo no existe, la selección de la velocidad de salida y dimensionamiento de las tuberías laterales es una cuestión de puro criterio propio.

La velocidad de salida en una tubería con un diámetro de 0.3 m es suficientemente grande como para causar erosión, hasta con una distribución en varios puntos alrededor de la caja del filtro, la erosión de la arena es un problema potencial, es por eso que se debe llenar el lecho filtrante con aproximadamente 0.3 m d agua sobre el nivel de arena para así disipar la energía de salida del flujo.

### **RECOLECCIÓN**

Las tuberías de desagüe inferior deben ser perforadas y usualmente su espaciado se decide con la práctica. Adicionalmente, se puede obtener una carga hidráulica uniforme sobre el lecho filtrante cuando se han aplicado conocimientos de hidráulica para dimensionar el desagüe inferior y el tamaño de sus perforaciones. El sistema de desagüe inferior requiere un proceso de cálculo complicado. Sin embargo uno puede tener una idea del diseño



aplicando el principio básico del colector de diseño, esto es, la pérdida de carga a través de puntos en el sistema en donde el flujo es distribuido debe ser alta en comparación a la pérdida de carga dentro colector principal. La idea es que la presión dentro de la tubería del colector, en cada punto de distribución, debe ser parecida.

### **DRENAJE**

Para el raspado de arena del lecho, el agua debe ser drenada a un nivel justo bajo la superficie de arena. El sistema de tuberías aquí es simple, ya que solo es necesario el uso de válvulas para aislar la caja del filtro.

### **RELLENADO DESPUÉS DEL RASPADO DE ARENA.**

Después de raspar, el agua drenada debe ser puesta de vuelta en el filtro, el agua debe ser de preferencia de un filtro adyacente, esto puede conseguirse fácilmente con una configuración de válvulas adecuada.

### **VERTEDERO**

La configuración para el sistema de tuberías del vertedero es sencilla, pero debe ser mencionada ya que es muy importante para prevenir un sobrellenado en la caja del filtro. La presa para desbordamiento debe ser construida por encima del lecho filtrante de tal manera que la cresta de la presa este justo debajo del nivel más alto de agua.

### **MEDIDAS DE CAUDALES**

Se debe colocar instrumentos para medir los caudales en los siguientes lugares:

- Orificio de medición en la parte de ingreso a la planta.
- Orificio de medición para la entrada de agua de cada filtro.
- El medidor volumétrico en la salida de la planta.

El medidor para el ingreso de la planta se usa para determinar el caudal que ingresa en la planta, este puede ajustarse usando la válvula de entrada.

Los medidores de cada filtro sirven para asegurar que cada uno de ellos reciba la misma cantidad de agua y para medir el volumen de agua filtrada entre raspados de arena.

El medidor en la línea de agua terminada puede proveer datos de uso de agua en la comunidad que podrán ser almacenados.

### **CONTROL DE CAUDAL**



El caudal que ingresa a la planta es controlado por medio de una válvula de compuerta que es localizada río abajo. El caudal en la planta debe ser estable por lo menos en un periodo de 24 horas.

#### **CONTROL DE AGUAS ABAJO**

La válvula de salida no sirve para controlar el flujo, su única función es incrementar la carga de agua para que el nivel de agua en el filtro pueda ser elevada a 0.3 m sobre el lecho filtrante inmediatamente después de haberse raspado. La válvula deberá abrirse por completo después que se ha llegado a la carga necesaria.

#### **MEDICIÓN DE LA PERDIDA DE CARGA**

Siempre se deberían instalar piezómetros en filtros, particularmente en los filtros lentos de arena, para medir la pérdida de carga.

Un piezómetro deberá colocarse por encima de la cabecera del lecho filtrante, y un segundo en la cuenca aguas abajo.

Estos instrumentos permiten medir de manera sencilla los niveles de agua.

#### **GALERÍA DE TUBERÍAS**

Una galería para tuberías es necesaria para los filtros lentos de arena, todas las tuberías son simples y despejadas, con válvulas que deben ser fáciles de operar y de mantener. El operado debe tener un fácil acceso a todas las válvulas, medidores y piezómetros dentro de la galería. Las tuberías, válvulas y medidores deberán ser codificados con colores y etiquetados de manera que su función sea evidente.

#### **ACCESO A LOS FILTROS**

Los operadores deben tener un acceso fácil hacia los lechos filtrantes para inspección durante operación, o durante el raspado de arena y rearenación. La remoción y colocación de arena no debe requerir posiciones anormales del cuerpo de la persona encargada que puedan resultar en lesiones.

#### **2.3.3.1.3 SISTEMA DE RECUPERACIÓN PARA ARENA**

Los sistemas de recuperación de arena son simples de construir y operar pero requieren de un gasto de capital. Si se tiene un área designada para arena sucia el gasto sería menor. Sin estos sistemas de recuperación, se deberá comprar arena para usar después de los raspados.

Si es que se tiene en la planta un lugar de recuperación de arena, esto significaría que la arena estará a la mano para la rearenación; el costo sería mínimo; la arena estaría lavada y lista para ser reusada; y no habrá la preocupación de que si se compra arena nueva esta cumplirá las características necesarias o si su precio será razonable.



El sistema para manejar la arena será el siguiente:

1. La arena sucia debe tener un lugar donde ser almacenada hasta que sea lavada.
2. Un canal sencillo se usa para lavar la arena.
3. Cuando la arena lavada se haya asentado, se mueve a un nuevo lugar de almacenamiento, este lugar deberá tener un sistema de drenaje y una cubierta. Debe ser accesible de manera que la arena sea removida con facilidad durante operaciones de rearenación.

#### **2.3.3.1.4 CAJA DEL FILTRO**

Diseños que conciernen a la caja del filtro incluyen el área, el número de células, el diagrama, profundidad, estructura y estanqueidad.

#### **RANGOS DE CARGA HIDRÁULICA (HLR) Y ÁREA**

El rango de carga hidráulica seleccionado sirve para determinar el área necesaria. El protocolo a seguir es el siguiente:

- Seleccionar el rango de carga hidráulica “HLR” (pico diario).
- Determinar el caudal “Q” (pico diario).
- Determinar el almacenamiento de agua para el pico diario, tomando en cuenta variaciones horarias y horas pico.
- Determinar la constante de caudal para el pico diario.
- Calcular el área requerida usando “Q” (pico diario, caudal constante) y “HLR” (pico diario).

#### **NÚMERO DE CÉLULAS**

Todo filtro lento de arena debería tener dos o más células para que cuando una este fuera de servicio por raspado u otras razones, el otro lecho filtrante pueda seguir produciendo cantidades suficientes de agua para la comunidad. El número de células afecta directamente la operación y rendimiento de la planta.

#### **DIAGRAMA**

Una parte importante del diseño es el diagrama del área de filtrado. Un diagrama de filtrado determina la configuración de las tuberías, los costos para la construcción de la caja del filtro y si en un futuro será posible la expansión de la planta.

#### **PROFUNDIDAD DE LA CAJA DEL FILTRO**

La profundidad de la caja se puede calcular de la siguiente manera:

Profundidad de la caja = profundidad de soporte de grava (0.5-08 m)  
+ profundidad de filtro (1-1.5m)



agua)  
 +profundidad máxima de agua (2-3 m)  
 +profundidad del francoborde (espacio entre el techo y

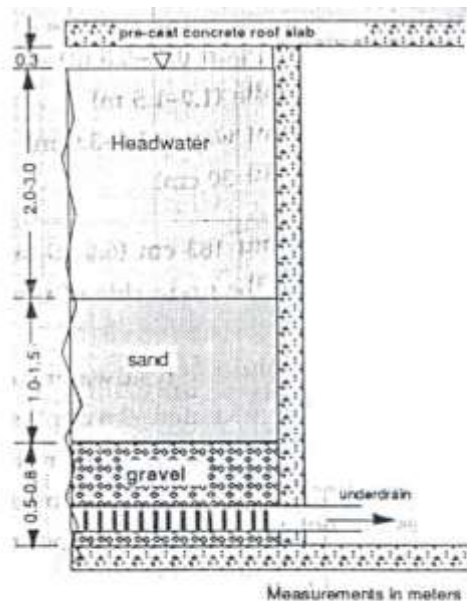


Figure Cross Section of Slow Sand Filter Showing Filter Box With Underdrain, Gravel Support, Sand, Headwater, and Freeboard

**Figura 14. Caja del filtro lento de arena con drenaje, soporte de grava, arena, carga de agua.**

### DISEÑO ESTRUCTURAL

El diseño estructural para la caja del filtro depende de la presión hidráulica ejercida en el interior de la caja del filtro y la presión del suelo ejercida en el exterior. La presión hidráulica se calcula aplicando el concepto de prisma de presión.

#### 2.3.3.1.5 DESINFECCIÓN

La filtración y la desinfección son los dos mecanismos para remoción que deberían ser siempre usados en cualquier sistema de tratamiento para proveer un agua apta para el consumo humano. El uso de cloro es usado frecuentemente para la desinfección, la seguridad debe ser un factor clave cuando se considera el uso de cloro en una planta de tratamiento. La concentración de cloro usada para la desinfección dependerá del tiempo de contacto y de los organismos de interés que se quieran eliminar.

#### 2.3.3.1.6 ARENAS Y GRAVAS

##### ESPECIFICACIÓN DEL TAMAÑO DE ARENA

Los parámetros más importantes son: el tamaño de los granos, que se determina por el diámetro efectivo  $d_{10}$  y su distribución granulométrica



determinada por el coeficiente de uniformidad CU. Estos parámetros afectan la eficiencia de purificación del filtro lento de arena.

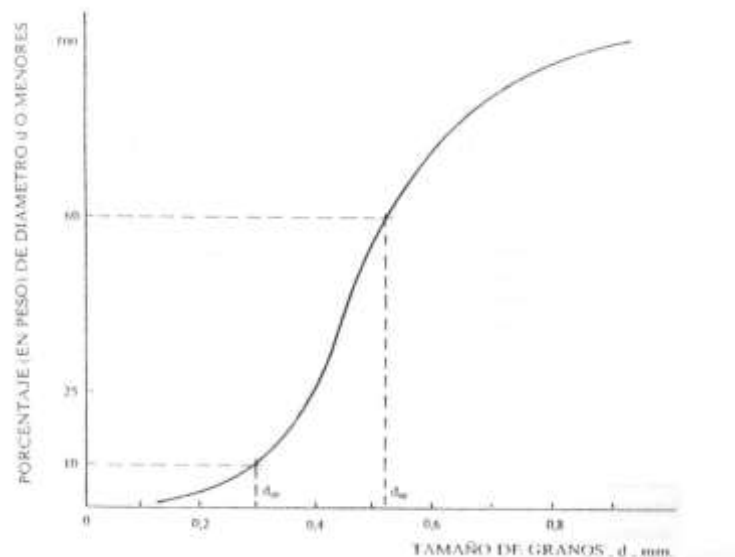
El diámetro efectivo, o el tamaño efectivo, es la abertura del tamiz a través del cual pasara el 10% (por peso) de los granos (es decir  $d_{10}$ ).

El coeficiente de uniformidad es la relación entre el diámetro efectivo y la abertura del tamiz a través del cual pasara un 60% (por peso) de los granos ( $d_{60}$ ):  $CU=d_{60}/d_{10}$ .

La arena usada en los filtros lentos debe ser relativamente fina y tener un diámetro efectivo entre 0,15 y 0,35 mm. Y un coeficiente de uniformidad menor a 5, preferiblemente entre 2 y 3,5.

El tamaño efectivo y el coeficiente de uniformidad se identifican con un análisis granulométrico, y los resultados pueden disponerse con un cuadro. El procedimiento es el siguiente:

- Se toma una muestra representativa de arena, se lava bien la muestra para extraer impurezas y se deja secar.
- Después se tamiza una cantidad aproximadamente de 500 g de arena seca pasándola a través de una serie de tamices estándar. Se continúa tamizando por 15 minutos y se usa un agitador mecánico de tamices.
- Se pesa la arena que queda en el tamiz más grueso, y se añade la que quedo retenida en cada uno de los tamices subsiguientes.



**Figura 15. Distribución de los tamaños de granos de arena.**

## EL FUNDAMENTO DE HAZEN



Hazen caracterizó un grano de arena en términos de su diámetro equivalente con una esfera, calculado como la raíz cubica del producto de las dimensiones medidas a lo largo de los ejes principales. La idea del diámetro efecto  $d_{10}$ , fue creada como un medio para caracterizar la arena junto con la idea del coeficiente de uniformidad.

$d_{10}$ = el tamaño del grano de tal manera que el 10% en peso de la muestra total sea menor.

CU= coeficiente de uniformidad, la relación entre el tamaño del grano que tiene el 60% de la muestra más fino que si mismo, con el tamaño de grano que tiene el 10% más fino que si mismo., estos es  $d_{60}/d_{10}$ .

### RECOMENDACIÓN DE HAZEN PARA EL TAMAÑO DE ARENA

Hazen hizo un reporte de tamaños de arena usados en más de 56 instalaciones. Unas de estas están dadas en la tabla #6, el coeficiente de uniformidad (CU) fue generalmente  $\leq 2.0$ . Hazen acertó que la calidad del efluente depende del tamaño de los granos de arena.

Tamanos de arena para filtros lentos de arena en Europa reportados por Hazen		
Instalacion	$d_{10}$ (mm)	UC
London, E. London	0.44	1.8
London, E. London	0.39	2.1
London, Chelsea	0.36	2.4
Birmingham	0.29	1.9
Antwerp	0.38	1.6
Hamburg	0.28	2.5
Altona	0.32	2
Berlin, Stralau	0.33	1.9
Berlin, Tegel	0.38	1.6
Budapest	0.2	2
Zurich	0.3	3.1
Hague	0.19	1.6
Amsterdam	0.17	1.6

**Tabla 6. Tamaños de arena para filtros lentos de arena en Europa.**

### RECOMENDACIONES ACTUALES

Para el diámetro efectivo: el diámetro efectivo de arena  $d_{10}$ , debe ser lo necesariamente pequeño como para asegurar una calidad del efluente y para prevenir la obstrucción en cuestión de su profundidad. Este diámetro efectivo generalmente está en un rango de 0.15-0.35 mm y es determinado por medio



de ensayos. El coeficiente de uniformidad se restringe de manera que la arena tenga suficiente porosidad, se recomienda un límite superior de  $CU \leq 3$ .

### **DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE ARENA**

El diámetro efectivo  $d_{10}$  y el coeficiente de uniformidad  $CU$  deben ser determinados por medio de análisis con tamices. De la información obtenida, se debe realizar un gráfico, de aquí obtenemos los valores de  $d_{10}$  y  $d_{60}$ . El cálculo de  $CU$  se obtiene de  $CU = d_{60}/d_{10}$ .

### **SOPORTE DE GRAVA**

El soporte de grava como su nombre lo indica, sirve para dar soporte al lecho de arena y permitir un drenaje uniforme en el mismo.

Por definición, un drenaje uniforme requiere una pérdida mínima de carga. Para lograr ambos propósitos, el soporte de grava debe ser graduado, con el material más fino en el tope y con el material más grueso en el fondo. El tamaño de grava en cada capa, las respectivas profundidades, y la pérdida de carga se discute a continuación.

### **TAMAÑO**

La capa superior del soporte de grava no debe permitir paso de arena del lecho de arena, además ninguna grava de un nivel debe pasar a un nivel inferior. La capa de fondo no debe permitir la entrada de gravas hacia los orificios del drenaje inferior.

### **PROFUNDIDAD DE LAS CAPAS DE GRAVA**

Otra regla es aquella que el grosor de cada capa de grava debe ser mayor que tres veces el diámetro de la piedra más larga. Además el ancho mínimo de las capas de grava debe ser 5-7 cm para el material más fino y 8-12 cm para el material más grueso. Hazen hace el caso que solo tres capas de grava graduada es necesario, con un ancho total de 15 cm.

### **RECOMENDACIONES**

Se recomienda el uso de gravas duras, redondeadas para el soporte de grava y que el sistema de drenaje inferior sea compuesto por al menos cuatro capas.

## **2.4 PROCESO DE TRATAMIENTO**

### **2.4.1 MECANISMOS PARA REMOVER PARTÍCULAS**

En el filtro lento de arena las impurezas que contienen el agua se eliminan mediante una combinación de procesos de: sedimentación, cribado, adsorción



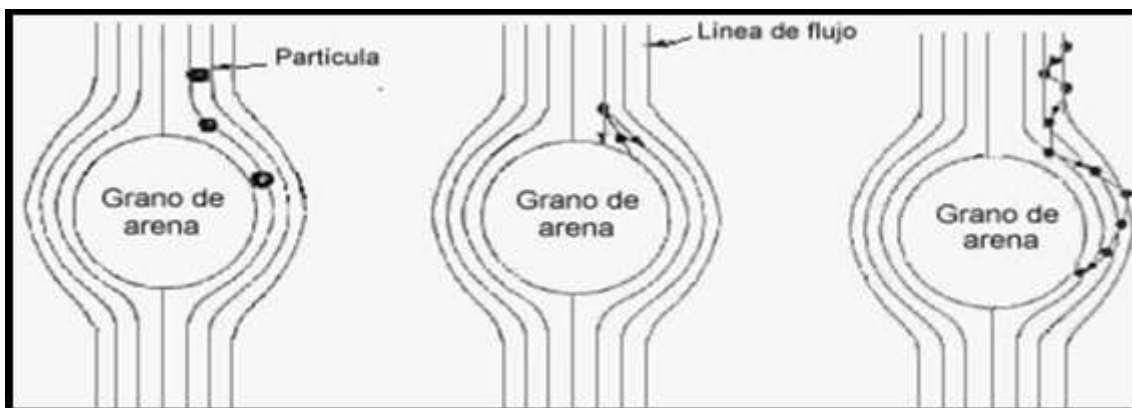


y acción química y bacteriológica. La forma como funcionan estos mecanismos en los procesos de filtración se indican en resumen a continuación.

#### 2.4.1.1 MECANISMOS DE TRANSPORTE

Surgen del contacto entre las impurezas que trae el agua y la superficie de los granos de arena, estos mecanismos son:

- a) Tamizado mecánico, tiene lugar en las capas superficiales y consiste en la retención e intercepción de partículas cuyo tamaño es mayor que los intersticios de los granos de arena, conforme los intersticios se hacen más pequeños, retienen partículas con tamaño menor al del poro. Este mecanismo es independiente de la velocidad de filtración, y las partículas retenidas tienen que ser resistentes al corte.
- b) Sedimentación, remueve partículas de tamaño menor que el de los poros de arena, la retención ocurre de la misma manera que en un sedimentador por acción de la gravedad, con la diferencia que en el sedimentador se depositan solo en el fondo, mientras que en la arena se tiene toda el área superficial para este efecto, volviéndose por tanto más eficiente que el mejor sedimentador convencional o acelerado debido a la gran área superficial de los granos de arena.



**Figura 16. Mecanismos de transporte.**

*Fuente: CANEPA DE VARGAS, Lidia, PEREZ, José, Manual I, II y III.*

En estos mecanismos influyen las siguientes fuerzas:

- a) Fuerzas centrífugas, producidas por cambios de sentido en el flujo, que generan a la vez, fuerzas de inercia y atracción másica.
- b) Fuerzas electrostáticas – electrocinéticas.

#### 2.4.1.2 MECANISMOS DE ENLACE



Son mecanismos de adherencia, entre estos el más llamativo es la adsorción, que es la capacidad de concentrar sustancia en la superficie del medio (granos de arena).

El fenómeno de la adsorción es igual a una acción resultante de varias fuerzas eléctricas, ligantes químicos y acción másica. Tiene lugar en toda la superficie en la que el agua entra en contacto con la arena, (1m<sup>3</sup> de arena tiene un superficie igual a 1.5Ha. esto favorece totalmente a la adsorción).

Acciones de adsorción:

- a) Acción pasiva: las partículas se pegan a la capa gelatinosa formada en la superficie de cada grano por acumulación principalmente de materia orgánica y de productos en descomposición.
- b) Acción activa: se produce por atracciones eléctricas, por simple diferencia de carga, o también por atracción física (fuerza de diferencia de masas).

Los fenómenos de atracción eléctrica se producen de la siguiente forma: los granos de la arena por su estructura cristalina están cargados negativamente, y pueden atraer iones positivos (Fe y Mn); la materia orgánica en estado coloidal tiene carga negativa, entonces al inicio por igualdad de cargas no hay atracción, pero al ocurrir el periodo de maduración, por acumulación de cargas negativas y positivas al atraer al Fe y al Mn, el lecho se vuelve positivo removiendo la materia coloidal (animal y vegetal) y NO<sub>3</sub> y PO<sub>4</sub>.

#### 2.4.1.3 MECANISMOS DE PURIFICACIÓN

La materia retenida entre los poros de la arena es activa, y está sujeta a procesos de oxidación tanto química como biológica. (Oxidación = pierden electrones y ganan valencia).

El hierro y el manganeso solubles son removidos por este mecanismo al ser oxidados y transformados en hierro y manganeso soluble con tres valencias positivas los cuales se depositan en la superficie de los granos, formando una incrustación café rojiza.

Las bacterias en una primera fase oxidan la materia orgánica nutritiva para proveerse de energía necesaria para su metabolismo, en la segunda fase convierten las partes oxidadas en la primera fase material celular (asimilación y crecimiento).

**“La oxidación química y bioquímica da buenos resultados si se dispone de oxígeno disuelto en el agua (mínimo 3 mg/lit), de tiempo (tiempo de retención depende de la V<sub>f</sub>) y de temperaturas adecuadas (la temperatura influye en la velocidad de las reacciones químicas)”.**



Acciones biológicas por parte de los seres vivos: algas, plancton, etc.

#### **2.4.2 PROCESO DE TRATAMIENTO**

La purificación comienza en la capa sobrenadante, donde las partículas grandes se asientan sobre el lecho filtrante y las más pequeñas se aglomeran en flóculos sedimentables como resultado de las interacciones físicas, químicas o bioquímicas.

Bajo la influencia de la luz solar, las algas, que se han introducido en el filtro con el agua cruda, crecen y favorecen el proceso de purificación.

Durante los primeros días, el agua se purifica principalmente por los procesos mecánicos y físico. El material retenido y el crecimiento orgánico forman una capa delgada sobre la superficie de arena que sigue siendo permeable y retiene partículas incluso menores que los espacios entre los granos de arena. A medida que se desarrolla esta capa llamada biomembrana, se convierte en el “alojamiento” de enormes cantidades de microorganismo que descomponen el material orgánico extraído del agua, convirtiéndolo en agua, dióxido de carbono y otros óxidos.

La mayoría de las impurezas, incluidas bacterias y virus, son removidas del agua cruda al atravesar la película y la capa de arena del lecho filtrante inmediatamente debajo. La eliminación de bacterias del agua se debe principalmente a la acción de depredadores, como los protozoarios.

Las impurezas que penetran más profundamente en el lecho filtrante entran en contacto con los granos de arena gradualmente se recubre de una capa delgada compuesta en su mayor parte de material orgánico y microorganismos. A su vez, estos adsorben las impurezas por diversos mecanismos de adhesión.

Los mecanismos de purificación se extienden desde la biomembrana hasta aproximadamente 0.3 a 0.4 m por debajo de la superficie del lecho filtrante, disminuyendo gradualmente en actividad a niveles inferiores, a medida que el agua se purifica y contiene menos material orgánico y nutrientes, a profundidades mayores se eliminan más productos de los procesos biológicos por los procesos físicos y la acción bioquímica.

Cuando los microorganismos están bien adaptados, el filtro trabaja eficientemente y produce un efluente de superior calidad que prácticamente



está libre de organismos transmisores de enfermedades, así como de materia orgánica biodegradable. El tiempo que demora el filtro en madurar depende de la calidad del agua cruda y los niveles de oxígeno también son factores importantes. En zonas tropicales un filtro que se ha limpiado puede tomar de uno a dos días en madurar.

La sedimentación continua y el cribado de las partículas aumentarán gradualmente la resistencia de la biomembrana, y después de cierto tiempo la resistencia será demasiado fuerte para que el filtro pueda producir suficiente agua limpia. La capacidad de filtración se puede restablecer drenando el agua sobrenadante y removiendo 1 a 2cm de arena, esto se llama raspado, incluyendo la biomembrana misma.

#### **2.4.3 PRETRATAMIENTO DEL AGUA SUPERFICIAL**

Los filtros lentos de arena solo funcionan adecuadamente con agua de baja turbiedad, por ejemplo entre 20 – 30 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbiedad). El agua cruda con niveles de turbiedad mayores que 50 UNT durante periodos de algunas semanas o mayores que 100 UNT por pocos días, causa rápidas colmataciones de los filtros lentos de arena. Se requiere entonces una frecuente limpieza de los filtros, que no es aceptable por el incremento en la carga de trabajo y la reducción en la producción de agua tratada. Por consiguiente, la necesidad de pretratar el agua cruda para reducir la turbiedad inicial es indispensable.

Existen varios métodos sencillos y fácilmente aplicables en pequeña escala, entre ellos la filtración en el lecho de río o filtro grueso dinámico, la filtración gruesa de flujo horizontal o vertical y la sedimentación tradicional.

#### **2.4.4 EFECTO DE LAS ALGAS**

Las algas se desarrollan en el agua como resultado de la presencia de nutrientes, como nitratos, fosfatos y luz solar. Pueden penetrar en el filtro con el agua cruda y luego proliferar en el agua sobrenadante. Son beneficiosas para el tratamiento en cantidades moderadas, en particular cuando forman parte de la biomembrana.

El florecimiento excesivo de estas ha creado problemas en los filtros lentos de arena, ya que pueden bloquear a los mismos. En otros casos, el consumo de oxígeno durante la noche ha creado condiciones anaeróbicas en los filtros.

Ciertos tipos de algas forman filamentos largos que se adhieren a la superficie de la arena en el filtro y en épocas de mucho sol, la totalidad de los lechos filtrantes pueden estar cubiertos de estas. En condiciones soleadas y calientes, las burbujas de oxígeno producidas por las algas pueden adherirse en tales cantidades que grandes masas de algas flotan a la superficie,



arrastrando con ellas parte de la arena y biomembrana, reduciendo la eficiencia del filtro.

#### **2.4.5 CONTROL DE ALGAS**

Las técnicas para prevenir o controlar el crecimiento de algas en filtros lentos de arena incluyen sombreado, tratamiento químico, métodos biológicos y extracción manual.

Un pretratamiento adecuado puede ser efectivo para remover algas del agua cruda, adicionalmente para permitir periodos de filtración más largos, se cubren los filtros evitando así el crecimiento de algas.

Se usa también la cloración previa en el agua sobrenadante para controlar el crecimiento de algas, así como el uso de sulfato de cobre, hay que tener mucho cuidado con la dosificación de este último ya que puede afectar la vida biológica en el filtro.

La extracción manual puede ser un método adecuado para extraer algas filamentosas.

### **2.5 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

Los filtros lentos en arena desarrollan una capa biológica sobre la arena, compuesta por millones de microorganismos encargados de producir la limpieza biológica y desinfectar el agua. Para que el filtro funcione adecuadamente se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Siempre debe permanecer como mínimo una capa de agua de 10 centímetros por encima de la capa de arena, ya que la capa biológica sin agua se muere y el agua no sale apta para consumo humano.
- Para el llenado del filtro se recomienda amortiguar la caída del agua sobre la capa de arena y evitar dañar la capa biológica que es bastante frágil.

Recuerde que el agua debe estar clarificada antes de llenar el filtro.

- El filtro debe permanecer en un lugar fresco y con poca luz para evitar el crecimiento de algas que alteran el buen funcionamiento de la capa biológica.
- La limpieza del filtro lento en arena se debe realizar cuando el flujo de agua a través de éste es muy poco, es decir, cuando la cantidad de agua de salida por la llave es mínima.



- La limpieza del filtro consiste en remover una capa de arena, desocupándolo previamente.
- Con un palustre raspe por encima la capa de arena fina sin hacer fuerza. Este raspado es de aproximadamente un centímetro de espesor.
- Vuelva a llenar el filtro hasta el nivel original y espere de 5 a 10 días para que se forme nuevamente la capa biológica, que es la que desinfecta el agua.
- Esta limpieza se realiza aproximadamente cada 2 o 3 meses, dependiendo del buen mantenimiento que se le dé al filtro.
- Después de 4 o 5 limpiezas, es necesario realizar una mejora completa al filtro. Para esta tarea, abra la llave de salida y desocupe el filtro.
- Saque la arena restante del filtro y lávela con agua limpia. Vuelva a lavar y desinfectar la grava y la gravilla, como se mencionó anteriormente.
- Enjuague el tanque.
- Recupere la arena que retiró en las primeras limpiezas y la vela adecuadamente.
- Coloque nuevamente las capas de grava, gravilla y arena, como se menciona en el punto 6 del procedimiento.
- Llene el filtro con agua clarificada y espere de 5 a 10 días para consumir el agua.

#### **OBSERVACIONES GENERALES**

Antes de consumir el agua proveniente del filtro lento de arena, es necesario cambiar el agua cada dos días durante 15 a 20 días aproximadamente para permitir la formación de la capa biológica.

En climas fríos, este proceso tarda aproximadamente 20 días y en climas cálidos entre 10 y 15 días.

### **2.5.1 OPERACION**

#### **2.5.1.1 PUESTA EN SERVICIO DE UN FILTRO NUEVO**

El procedimiento para poner en servicio un filtro nuevo lo realiza el operador, el procedimiento consiste en sangrar el filtro es decir asegurarse que no quede aire acumulado en el sistema, esto se hace dejando pasar agua a través del filtro por un periodo de tiempo, luego cerrar las válvulas de desalajo y llenar el filtro hasta una altura de 0.1 a 0.2 m sobre la superficie de arena, esto puede tomar varias horas.



Tabla Procedimientos para poner en servicio un filtro nuevo

Procedimientos	Detalles
Llenar con agua por el fondo	— Realizar la conexión provisional (c) hasta que el agua aparezca sobre la superficie de arena.
Corregir la nivelación de la superficie de arena	— Abrir la válvula (d) para hacer descender el nivel de agua hasta 0,1 m debajo de la superficie de arena. — Nivelar las irregularidades en la superficie de arena.
Poner en marcha el filtro	— Realizar nuevamente la conexión provisional (c) hasta que el nivel del agua alcance 0,2 m sobre la superficie de arena. — Abrir la válvula (a) de regulación del filtro y mantener la velocidad de filtración en 0,02 m/h. — Abrir la válvula (e) de desagüe del agua filtrada — Aumentar la velocidad de filtración 0,02 m/h cada hora hasta alcanzar la velocidad de diseño (generalmente 0,10 ó 0,15 m/h)
Retirar el material flotante	— Utilizar el accesorio o válvula b
Revisar la calidad del agua	— Durante el periodo de maduración del filtro, comprobar a diario si el agua filtrada reúne los criterios de calidad acordados para suministrarla
Pasar el agua filtrada al sistema de abastecimiento	— Cuando la calidad el agua filtrada sea aceptable, cerrar la válvula (e) de desagüe del agua filtrada y abrir la válvula (f) de distribución

**Tabla 7. Procedimiento para poner en servicio un filtro nuevo.****2.5.1.2 PUESTA EN MARCHA DE UN FILTRO**

La operación más importante en esta etapa es la del llenado del manto de arena. El mismo se realiza lentamente saturado con flujo ascendente, aproximadamente entre 0,10 y 0,20m por hora, hasta un nivel del sobrenadante que evite la erosión de la superficie filtrante por la acción del chorro de ingreso.

Otro aspecto a considerar en esta etapa es la maduración del filtro o sea la formación de la capa biológica, que puede ser de varias semanas y es dependiente de la temperatura (a mayor temperatura menor periodo de maduración y viceversa).

Cuando se ha alcanzado la altura deseada sobre la superficie de arena, se deja llenar el filtro con una velocidad lenta para no arrastrar la arena cercana a la entrada, aumentándose a medida que sube el nivel de agua, cuando este nivel llegue al nivel de trabajo del filtro este puede ponerse en funcionamiento.



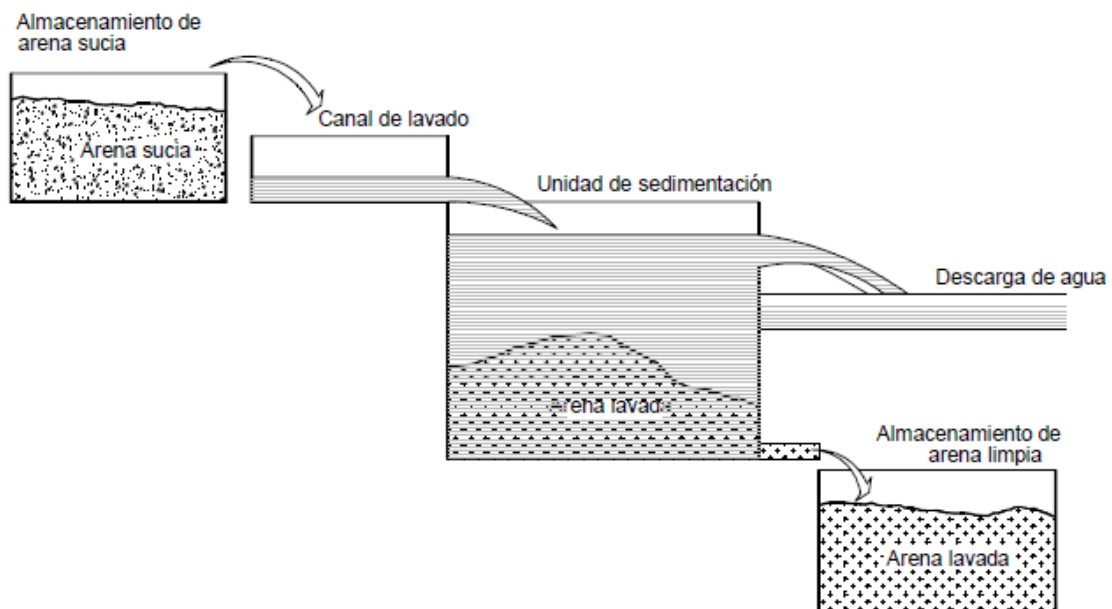
## 2.5.2 MANTENIMIENTO

Tareas de mantenimiento diario relacionadas a la operación de los filtros consisten en chequear que el flujo de entrada no este obstruido, limpiando material flotante y basura de la superficie del agua. Las bombas, canales y otros equipos deben ser verificados diariamente que estén funcionando correctamente. Los medidores de flujo deben ser monitoreados constantemente.

### 2.5.2.1 LIMPIEZA DEL LECHO DE ARENA

#### CONSIDERACIONES PARA EL LAVADO DE LA ARENA

- Cuando la arena es muy costosa o difícil de obtener, se recomienda lavar y almacenar la arena proveniente de los raspados para ser usada en el rearenamiento del filtro.
- La arena raspada debe lavarse tan pronto como se extrae del filtro, porque tiene materia orgánica adherida y este material al descomponerse produce sustancias con olores y sabores muy difíciles de remover.
- Para lavar la arena en una planta pequeña, se puede emplear un simple canal. El flujo de agua mantiene la arena y los residuos en suspensión. La arena sedimentara dentro de una caja y los residuos serán removidos por la corriente de agua.



**Figura 17. Esquema de un sistema de lavado de arena.**





Cuando la arena está lo suficientemente seca, debe retirarse entre 1 y 2 cm de la capa superior dependiendo cuanto haya penetrado el sedimento, esto se puede determinar por el color de la arena. Este proceso se debe hacer lo más rápido posible a fin de minimizar la interferencia con la vida biológica en las capas inferiores del lecho. El material extraído se almacena y lava para un uso próximo, cuando haya terminado el raspado y se haya extraído la arena sucia, se nivelara la superficie de arena.

Tabla Procedimiento para limpiar un lecho filtrante

Actividad	Acciones claves
1. Limpiar el equipo	— Limpie todo el equipo, incluido botas.
2. Bajar al lecho filtrante	— Entre en la caja del filtro usando la escalera corta.
3. Proteger el lecho filtrante	— Raspe una pequeña área, cúbrala con tablas y coloque el equipo sobre ella.
4. Raspar la capa superior	— Marque áreas (3 x 3 m <sup>2</sup> ) raspando en franjas estrechas. Raspe 1 - 2 cm de la parte superior de cada área.
5. Retirar el material raspado del filtro	— Lleve el material raspado a la plataforma de lavado.
6. Retirar el equipo	— Retire todo el equipo.
7. Nivelar la superficie de arena	— Use una tabla de raspar o un rastrillo de dientes finos para nivelar la superficie de arena.
8. Comprobar la profundidad del lecho de arena	— Mida la altura desde el borde superior del muro hasta el lecho filtrante.
9. Llenar el filtro en forma ascendente	— Siga el procedimiento indicado en la Sección 10.2.
10. Dar tiempo para la maduración biológica	— La maduración generalmente toma de 1 a 2 días en zonas tropicales (siempre y cuando la limpieza no dure más de 1 día).
11. Pasar el agua al sistema de suministro	— Cierre la válvula (e) y abra la válvula (f) de suministro.
12. Ajustar los otros filtros	— Reduzca lentamente la velocidad de filtración de los otros filtros a la velocidad usual.

**Tabla 8. Procedimiento para limpiar un lecho filtrante.**

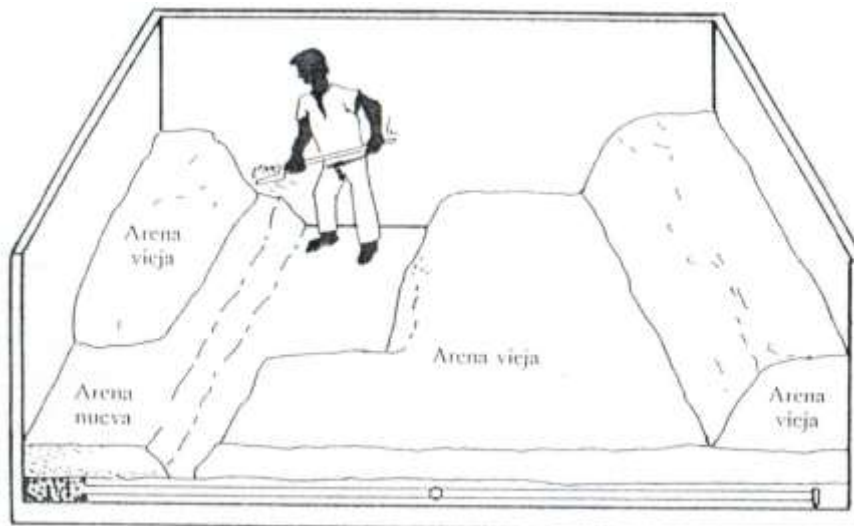
### 2.5.2.2 REARENAMIENTO DE UN FILTRO

La reposición de arena es necesaria cuando los raspados has reducido el espesor del lecho a 50-60 cm. Esta operación se debe realizar cada dos o tres

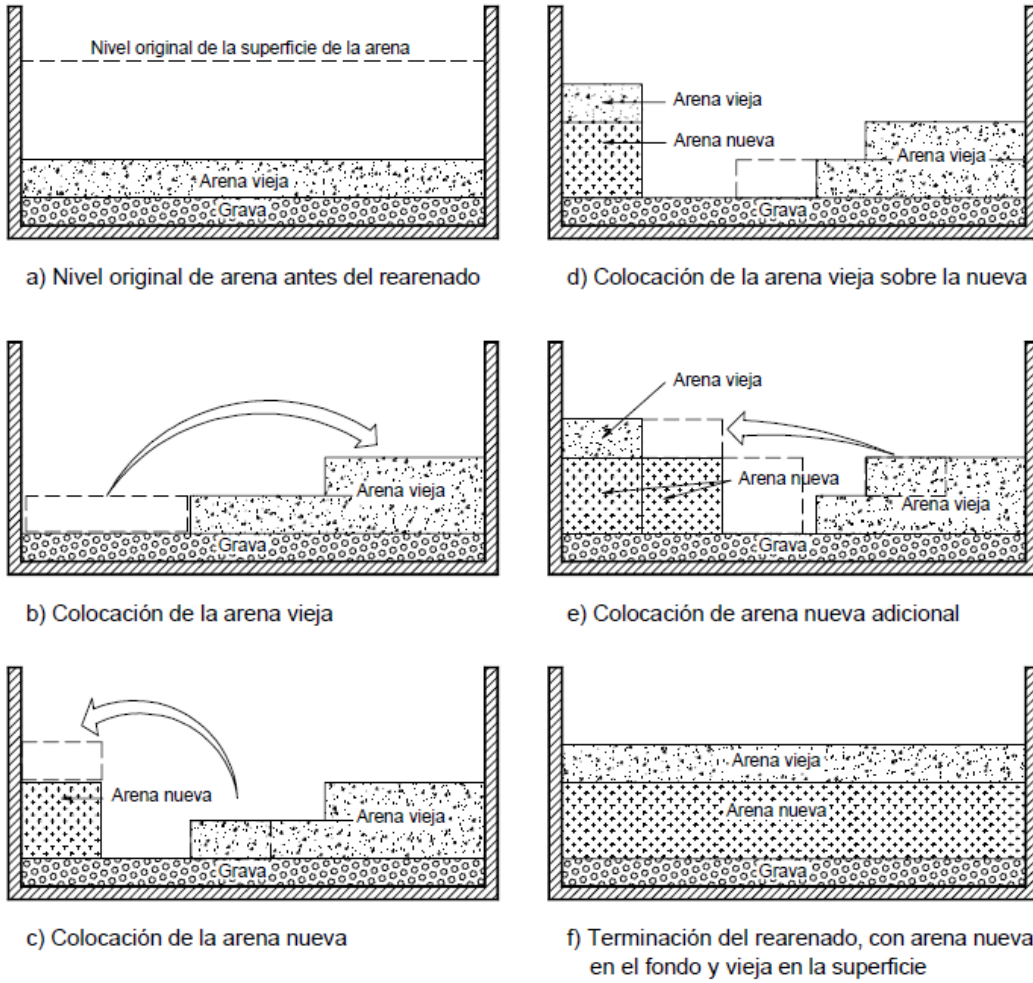


años. Se debe tomar bastante antelación al realizar este proceso ya que se necesita parar la producción de agua de ese filtro y podrá haber riesgos de escases de agua es por eso que se debe realizar esto en épocas de poca demanda de agua. En condiciones normales no debe haber necesidad de retirar toda la arena, a menos que el sedimento haya penetrado profundamente. Se deberá extraer totalmente también cuando el contenido de bicarbonato o carbonato en el agua sea alto, esto produce que la arena se una en una masa impermeable.

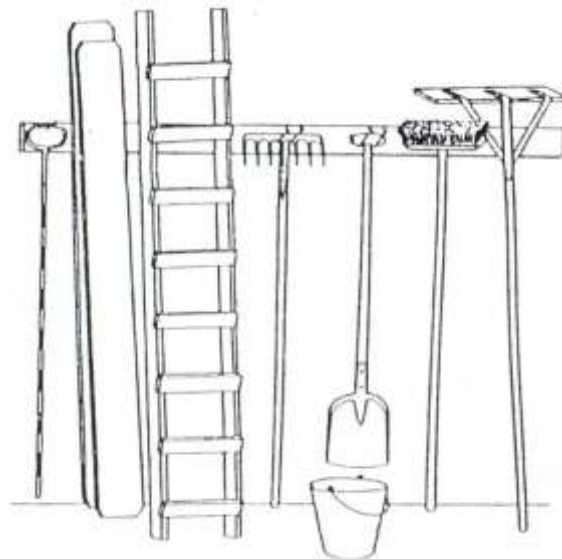
Por lo menos, cada cinco años se realizará el lavado completo del filtro. Se retiran con mucho cuidado la arena y la grava para no mezclarlas y se lavan, se cepillan las paredes de la caja del filtro, se reacomoda el drenaje y se vuelve a colocar el lecho de arena y grava. Si ha habido pérdidas de arena y grava será necesario reponerla. Si hay grietas en las paredes o en el fondo, deberán reponerse antes de colocar el lecho filtrante.



**Figura 18. Rearenamiento de un filtro lento.**



**Figura 19. Sistema de rearenamiento de un filtro lento.**



**Figura 20. Herramientas usadas para la operación y mantenimiento.**



## LIMPIEZA TOTAL DE CADA FILTRO

Se recomienda que en forma secuencial, en un periodo prolongado generalmente no inferior a cinco años, se limpie todos los elementos de la caja filtrante: lecho de arena, manto sosten de grava, sistema de drenaje, paredes y solera de la unidad, cámaras, vertederos, etc.

## 2.6 RESULTADOS DE LA FILTRACION LENTA EN ARENA

El mejoramiento en la calidad del agua mediante filtración lenta en arena difiere de un lugar a otro porque el proceso depende de muchos factores, como calidad del agua cruda, el tamaño de los granos de arena, la velocidad de filtración, la temperatura y el contenido de oxígeno del agua.

Un filtro lento maduro y bien operado puede reducir entre a 1 a 3 log la concentración de enterobacterias. En la figura #3 se resume la indicación del efecto de la purificación de un filtro maduro, que es un filtro con una biomembrana totalmente desarrollada.

Las cifras corresponden a filtros que están operando bajo condiciones variables, por lo que los resultados varían notablemente.

La selección del tamaño de los granos de arena es un factor crucial en el rendimiento del filtro, la selección de un tamaño efectivo de grano fino mejorara el rendimiento del proceso de tratamiento, aunque aumentara la perdida inicial de la carga hidrostática.

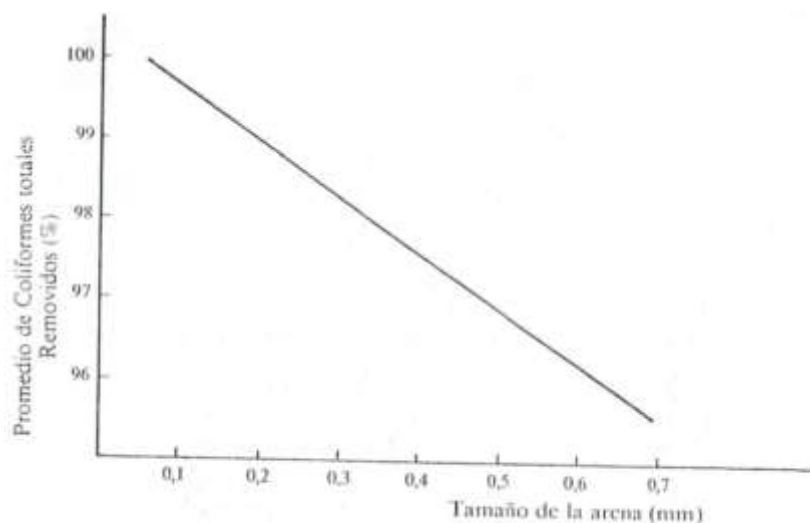


Figura : Efecto del tamaño de la arena en la remoción de bacterias coliformes totales en la filtración lenta en arena. (Bellamy, 1985).

### ***Figura 21. Efecto de purificación de un filtro maduro.***

## 2.7 COSTOS DE LOS FILTROS LENTOS DE ARENA

### 2.7.1 COSTOS DE CONSTRUCCION

El costo de construcción se determina principalmente en función de los materiales como cemento, arena para construcción, grava, acero para refuerzo,



arena para filtros, tuberías y válvulas. El costo de mano de obra y terreno es menos importante.

Para una mayor claridad se presenta la siguiente ecuación que permite calcular los costos totales de construcción de un filtro, excluyendo el costo de tuberías y válvulas:

$$C_1 = C_a A + C_l L_w$$

Dónde:

$C_1$  = Costo total de construcción, excluyendo tuberías y válvulas.

$C_a$  = Costos combinados por  $m^2$  de superficie de terreno para lecho filtrante, sistema de drenaje, grava, arena y excavación.

$C_l$  = Costo por metro lineal de tramo de pared

$A$  = Área superficial ( $m^2$ )

$L_w$  = Longitud total de paredes (m)

### 2.7.1.1 COSTOS POR METRO CUADRADO DEL LECHO FILTRANTE.

Una estimación del costo por  $m^2$  del lecho filtrante, puede basarse en el costo de los trabajos de excavación, el concreto del sistema de drenaje y el material filtrante ver tabla #9.

Tabla Estimación del costo promedio por  $m^2$  del área del lecho filtrante, sistema de drenaje, grava, arena de filtro y excavación, para zonas rurales de la India. 1983.

Items	Profundidad (m)	Costo unitario/ $m^3$	Costo/ $m^2$ lecho filtrante (en Rp de la India)*
Trabajo de excavación	2,50	10	25
Cimientos (hormigón)	0,15	330	50
Piso (hormigón reforzado)	0,15	885	135
Arena de filtro (1 m) y grava (3 m)	1,30	200	260
Sistema de drenaje de ladrillos		280	30
Costo total por $m^2$ de lecho filtrante			500

\* Tasa de cambio US\$ 1 = Rp 10

**Tabla 9. Estimación del costo promedio para el área del lecho filtrante.**

### 2.7.1.2 COSTO MÍNIMO DE LOS FILTROS

El costo de una planta de filtración lenta en arena depende del número de unidades.



Al calcular el costo de filtros rectangulares, importa además su disposición, porque pueden tener paredes comunes. El costo total para el tramo de pared más corta puede calcularse del siguiente modo.

$$C_u = C_s + 2C_l [2A (n+1)]^{1/2}$$

$C_u$  = Costo total de los filtros rectangulares para la longitud de pared más corta, excluyendo accesorios y el terreno.

$C_s$  = Costos combinados por metro cuadrado de área de piso para el lecho filtrante, sistema de drenaje, grava, arena y excavación.

$C_l$  = Costo de las paredes por metro lineal de tramo de pared.

$A$  = Área superficial total ( $m^2$ )

$n$  = Número de unidades

El costo total de los filtros circulares puede calcularse del siguiente modo:

$$C_k = C_s + 2C_l [n \pi A]^{1/2}$$

$C_k$  = Costo total de los filtros circulares, excluyendo accesorios y el terreno.

$C_s$  = Costo combinado por  $m^2$  de área de piso para el lecho filtrante, sistema de drenaje, grava, arena y excavaciones.

$C_l$  = Costo de la pared por metro lineal.

$A$  = Área superficial total ( $m^2$ )

$n$  = Número de unidades

### 2.7.2 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

El costo de operación de un filtro lento de arena depende de los costos de mano de obra, y de la energía eléctrica si se requiere bombeo, pero no se pueden dar cifras generales debido a las variaciones en las situaciones locales. Por ejemplo, sistemas pequeños de suministros de agua por gravedad requieren menor asistencia y mayor mano de obra solo cuando se requiera limpiar el filtro. En cambio, las plantas grandes necesitan de un operador y vigilancia además de obreros que limpien los filtros cuando se obstruyan.

Los costos de mantenimiento incluirán reparaciones menores a los filtros, y el reemplazo de arena por raspado. Otros costos de mantenimiento se relacionan con el reemplazo de pocas partes móviles del filtro.



### 3. CAPITULO 3.

#### 3.1 CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DEL AGUA SUPERFICIAL EN NUESTRA REGION

##### 3.1.1 RECOPIACION DE ANALISIS EXISTENTES

##### 3.1.1.1 CARACTERISTICAS FISICAS Y BACTERIOLOGICAS DEL RIO YANUNCAY

Estos análisis se obtuvieron de la tesis: Tecnología no convencional para la potabilización del agua, realizados por los ingenieros Alfredo Cáceres y Xavier Sánchez Aguilera en el año 1996, los cuales se detallan a continuación.

En la tabla #10 se presentan las variaciones de turbiedad y color del río Yanuncay durante este periodo.

Resultados de Analisis de Caracteristicas Fisicas									
Tesis: Tecnología no convencional para la potabilización del agua					Rio: Yanuncay				
Unidad: Filtro lento de arena					Vel. De filtración: 0.12 m/h				
Realizador por: Alfredo Cáceres - Xavier Sanches Aguilera					Caudal filtrado: 1,23 l/mm				
Muestra #	Fecha	Hora	Color Aparente U. C.			Turbiedad U. T.			Perdida carga (cm)
			entrada	salida	% remocion	entrada	salida	% remocion	
1	15/11/1996	8:20	12	12	0	2.2	2	9.090909	7
2	18/11/1996	8:00	12	12	0	1.3	1.3	0	7
3		8:40	13	12	7.692308	1.3	1.3	0	7
4		12:20	17	14	17.64706	1.8	1.6	11.11111	7
5	19/11/1996	8:00	13	11	15.38462	1.5	1.5	0	7
6		8:40	13	11	15.38462	1.4	1.3	7.142857	7
7		9:20	13	10	23.07692	1.3	1.1	15.38462	7
8		12:20	16	9	43.75	1.6	1.5	6.25	7
9	20/11/1996	8:00	10	10	0	1.4	1.3	7.142857	7
10		8:40	10	10	0	1.2	1.2	0	7
11		9:20	10	10	0	1.3	1.2	7.692308	7
12		12:20	10	10	0	1.2	1.2	0	7
13	21/11/1996	8:00	15	14	6.666667	1	1	0	7
14		8:40	20	14	30	1.2	0.8	33.333333	7
15		9:20	15	15	0	1.1	1.1	0	7
16		12:20	13	10	23.07692	1.2	1	16.6667	7
Resultados de Analisis de Caracteristicas Bacteriologicas									
Tesis: Tecnología no convencional para la potabilización del agua					Rio: Yanuncay				
Unidad: Filtro lento de arena					Vel. De filtración: 0.12 m/h				
Realizador por: Alfredo Cáceres - Xaavier Sanches Aguilera					Caudal filtrado: 1,23 l/mm				
Muestra #	Fecha	Hora	Coliformes Totales NMP/100			Coliformes Fecales NMP/100			Perdida carga (cm)
			entrada	salida	% remocion	entrada	salida	% remocion	
1	30/10/1996	13:00	900	300	6.66667	220	170	22.72727	7
2	19/11/1996	8:20	700	500	28.57143	500	300	40	7
3	21/11/1996	8:00	80	40	50	60	20	66.6667	7



***Tabla 10. Resultados de análisis de características físicas y bacteriológicas del río Yanuncay.***

**3.1.1.2 CARACTERISTICAS FISICAS Y BACTERIOLOGICAS DEL RIO TARQUI**

Esta información se adquirió en la planta de Ucubamba, siendo los resultados de los análisis obtenidos en el río Tarqui, realizadas en tres estaciones, dichos análisis se ejecutaron en el año 2010, los cuales se detallan en las siguientes tablas.





### Resultados de Analisis de Caracteristicas Fisicas y Bacteriologicas

Unidad: Filtro lento de arena

Rio: TARQUI

Estacion: Planta de Tarqui

Muestra #	Fecha	D.B.O		Turbiedad U. T.	
		entrada	salida	entrada	salida
1	31/03/2010	1.1	1	7.88	9.31
2	05/07/2010	1.1	1.1	8.75	10.5
3	22/09/2010	2.2	2.2	4.85	4.65
4	08/12/2010	0.2	0.1	6.39	5,45
Muestra #	Fecha	Oxigeno disuelto		Coliformes Fecales NMP/100	
		entrada	salida	entrada	salida
1	31/03/2010	6.85	6.9	7900	7900
2	05/07/2010	7.15	7	7900	4000
3	22/09/2010	7.75	7.9	11000	13000
4	08/12/2010	8.4	7.7	54000	2300
Muestra #	Fecha	PH		FOSFATOS	
		entrada	salida	entrada	salida
1	31/03/2010	7.32	7.21	0.4	0.43
2	05/07/2010	7.14	7.06	0.183871	0.2758065
3	22/09/2010	7.64	7.42	0.8580645	0.7048387
4	08/12/2010	7.61	7.4	1.195161	0.5516129
Muestra #	Fecha	SOLIDOS TOTALES		NITRITOS+NITRATOS	
		entrada	salida	entrada	salida
1	31/03/2010	92	106	0.16	0.14
2	05/07/2010	112	123	0.12	0.14
3	22/09/2010	151	140	0.11	0.17
4	08/12/2010	179	176	0.04	0.18

**Tabla 11. Resultados de análisis de características físicas y bacteriológicas del río Tarqui.**



### Resultados de Analisis de Caracteristicas Fisicas y Bacteriologicas

Unidad: Filtro lento de arena

Rio: TARQUI

Estacion: Planta Victoria del Portete

Muestra #	Fecha	D.B.O		Turbiedad U. T.	
		entrada	salida	entrada	salida
1	31/03/2010	1.5	1.3	14.8	7.46
2	05/07/2010	1	1.4	5.28	6.5
3	22/09/2010	1.7	2.2	4.34	4.24
4	08/12/2010	1.1	1.8	4.15	4.13
Muestra #	Fecha	Oxigeno disuelto		Coliformes Fecales NMP/100	
		entrada	salida	entrada	salida
1	31/03/2010	6.8	6.95	1400	33000
2	05/07/2010	7.7	7.9	3300	7900
3	22/09/2010	8	9.4	230	160000
4	08/12/2010	6.75	7.3	4600	92000
Muestra #	Fecha	PH		FOSFATOS	
		entrada	salida	entrada	salida
1	31/03/2010	7.07	7.16	0.46	0.43
2	05/07/2010	6.93	7.15	0.1225806	0.3064516
3	22/09/2010	8.01	8.04	0.6129032	0.582258
4	08/12/2010	6.93	7.13	0.582258	0.3370968
Muestra #	Fecha	SOLIDOS TOTALES		NITRITOS+NITRATOS	
		entrada	salida	entrada	salida
1	31/03/2010	129	116	0.04	0.14
2	05/07/2010	69	149	0.02	0.04
3	22/09/2010	106	105	0.01	<0.01
4	08/12/2010	124	140	0.04	0.01

**Tabla 12. Resultados de análisis de características físicas y bacteriológicas del río Tarqui.**



### Resultados de Analisis de Caracteristicas Fisicas y Bacteriologicas

Unidad: Filtro lento de arena

Estacion: Planta de Quingeo

Muestra #	Fecha	D.B.O		Turbiedad U. T.	
		entrada	salida	entrada	salida
1	31/03/2010	N/D	N/D	N/D	N/D
2	05/07/2010	0.5	0.5	10.08	10
3	22/09/2010	2.1	0.9	5.72	5.43
4	08/12/2010	0.1	1.7	17	19.8
Muestra #	Fecha	Oxigeno disuelto		Coliformes Fecales NMP/100	
		entrada	salida	entrada	salida
1	31/03/2010	N/D	N/D	N/D	N/D
2	05/07/2010	7.1	7	4600	7000
3	22/09/2010	7.1	N/D	17000	3500
4	08/12/2010	6.8	6.7	11000	7000
Muestra #	Fecha	PH		FOSFATOS	
		entrada	salida	entrada	salida
1	31/03/2010	N/D	N/D	N/D	N/D
2	05/07/2010	7.62	7.48	0.0919355	0.0919355
3	22/09/2010	8.17	8.03	0.2145161	0.2145161
4	08/12/2010	7.86	8.02	1.409677	0.1532258
Muestra #	Fecha	SOLIDOS TOTALES		NITRITOS+NITRATOS	
		entrada	salida	entrada	salida
1	31/03/2010	N/D	N/D	N/D	N/D
2	05/07/2010	190	192	0.05	0.04
3	22/09/2010	217	200	<0.01	<0.01
4	08/12/2010	288	290	0.02	0.01

**Tabla 13. Resultados de análisis de características físicas y bacteriológicas planta Quingeo.**



### 3.1.2 EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua es referido a la composición del agua en la medida en la que esta es afectada por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y actividades humanas.

Una de las clasificaciones que se pueden utilizar para el estudio de los diferentes parámetros de contaminación o calidad de las aguas, es según la naturaleza de la propiedad o especie que se determina. Así, se divide en:

- *Parámetros de carácter físico*
- *Parámetros de carácter químico*
- *Parámetros de carácter microbiológico*

Con la finalidad de determinar la calidad del agua de los ríos Yanuncay y Tarqui, luego de haber realizado la recopilación de análisis existentes sobre las características físicas, químicas y bacteriológicas de dichos ríos presentados en las tablas (10, 11, 12 y 13), procedemos a evaluar la calidad del agua, basándonos en las siguientes tablas.

*Señalado la casilla con color amarillo de acuerdo al valor obtenido del promedio de las muestras de cada análisis existente sobre las características físicas, químicas y bacteriológicas se clasifica la calidad del agua.*

#### 3.1.2.1 CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO YANUNCAY

##### Clasificación de las aguas crudas con fines de potabilización

CONTAMINANTES O CARACTERISTICAS	UNIDAD	EXCELENTE	BUENA	DEFICIENTE
DBO5 Promedio Mensual Máximo/ día	mg/l	0.75 - 1.5	1.5 - 2.5	22
COLIFORMES	NMP/100ml	50 - 100	100 - 5000	25000
OXIGENO DISUELTO Promedio Saturación	mg/l	4.0 - 7.5 75% o mayor	4.0 - 6.5 60% o mayor	< 4
PH Promedio		6.0 - 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5
CLORUROS Máximo	mg/l	50	50 - 250	>250



FLUORUROS	mg/l	1.5	1.5 - 3.0	>3
COMPUESTOS FENOLICOS Máximo	mg/l	0	0.005	>0.005
COLOR	Unidades	0 - 20	20 - 150	>150
TURBIEDAD	Unidades	0 - 10	10 - 250	>250

**FUENTE:** "Potabilización" – Ing. Milton Silva – Capítulo 2 (Escuela Politécnica Nacional del Ecuador)

**Tabla 14. Evaluación de la calidad del agua del Río Yanuncay.**

Los parámetros físicos – químico y bacteriológicos a ser ajustados hacia valores guía, son: coliformes totales y coliformes fecales.

Donde al analizar los datos obtenidos podemos observar que la calidad del agua del río Yanuncay, de acuerdo a las características físico – químico es una agua excelente, pero las características bacteriológicas demuestran que es una agua de buena calidad.

### 3.1.2.2 CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO TARQUI

Para el río Tarqui tenemos dos estaciones de control de la calidad del agua los cuales se detallan a continuación.

**Estación:** Planta de Tarqui

#### **Clasificación de las Aguas Crudas con Fines de Potabilización**

CONTAMINANTES O CARACTERISTICAS	UNIDAD	EXCELENTE	BUENA	DEFICIENTE
DBO5 Promedio Mensual Máximo/ día	mg/l	0.75 - 1.5	1.5 - 2.5	22
COLIFORMES	NMP/100ml	50 - 100	100 - 5000	25000
OXIGENO DISUELTO Promedio Saturación	mg/l	4.0 - 7.5 75% o mayor	4.0 - 6.5 60% o mayor	< 4
PH Promedio		6.0 - 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5
CLORUROS Máximo	mg/l	50	50 - 250	>250
FLUORUROS	mg/l	1.5	1.5 - 3.0	>3
COMPUESTOS FENOLICOS Máximo	mg/l	0	0.005	>0.005



COLOR	Unidades	0 - 20	20 - 150	>150
TURBIEDAD	Unidades	0 - 10	10 - 250	>250

**FUENTE:** "Potabilización" – Ing. Milton Silva – Capitulo 2 (Escuela Politécnica Nacional del Ecuador)

**Tabla 15. Evaluacion de la calidad del agua del Rio Tarqui.**

**Estación:** Planta Victoria del Portete

**Clasificación de las Aguas Crudas con Fines de Potabilización**

CONTAMINANTES O CARACTERISTICAS	UNIDAD	EXCELENTE	BUENA	DEFICIENTE
DBO5 Promedio Mensual Máximo/ día	mg/l	0.75 - 1.5	1.5 - 2.5	22
COLIFORMES	NMP/100ml	50 - 100	100 - 5000	25000
OXIGENO DISUELTO Promedio Saturación	mg/l	4.0 - 7.5 75% o mayor	4.0 - 6.5 60% o mayor	< 4
PH Promedio		6.0 - 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5
CLORUROS Máximo	mg/l	50	50 - 250	>250
FLUORUROS	mg/l	1.5	1.5 - 3.0	>3
COMPUESTOS FENOLICOS Máximo	mg/l	0	0.005	>0.005
COLOR	Unidades	0 - 20	20 - 150	>150
TURBIEDAD	Unidades	0 - 10	10 - 250	>250

**FUENTE:** "Potabilización" – Ing. Milton Silva – Capitulo 2 (Escuela Politécnica Nacional del Ecuador)

**Tabla 16. Evaluacion de la calidad del agua del Rio Tarqui.**

**Estación:** Planta de Quingeo

**Clasificación de las Aguas Crudas con Fines de Potabilización**

CONTAMINANTES O CARACTERISTICAS	UNIDAD	EXCELENTE	BUENA	DEFICIENTE
DBO5 Promedio Mensual	mg/l	0.75 - 1.5	1.5 - 2.5	22



Máximo/ día				
COLIFORMES	NMP/100ml	50 - 100	100 - 5000	25000
OXIGENO DISUELTO Promedio Saturación	mg/l	4.0 - 7.5 75% o mayor	4.0 - 6.5 60% o mayor	< 4
PH Promedio		6.0 - 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5
CLORUROS Máximo	mg/l	50	50 - 250	>250
FLUORUROS	mg/l	1.5	1.5 - 3.0	>3
COMPUESTOS FENOLICOS Máximo	mg/l	0	0.005	>0.005
COLOR	Unidades	0 - 20	20 - 150	>150
TURBIEDAD	Unidades	0 - 10	10 - 250	>250

**FUENTE:** "Potabilización" – Ing. Milton Silva – Capitulo 2 (Escuela Politécnica Nacional del Ecuador)

**Tabla 17. Evaluación de la calidad del agua.**

Observando los datos obtenidos en las tablas (15, 16) determinamos que en la estacione Planta de Tarqui se tiene que la calidad del agua del río Tarqui es deficiente tomando como valores guia los coliformes totales y coliformes fecales. Mientras que en la estacion Planta Victoria del Portete al analizar los datos podemos observar que la calidad del agua del río Tarqui es buena, debido a que esta estación tiene menor cantidad de coliformes respecto de las otra dos estaciones.

### 3.1.3 TRATABILIDAD DEL AGUA PARA SU POTABILIZACION UTILIZANDO F.L.A

Debido a que la F.L.A funciona con una velocidad menor se espera tener una buena eficiencia respecto a la remosion de características físico y bacteriológicas del agua cruda con fines de potabilización. A continuación se presentan las siguientes tablas donde se detallan los porcentajes removidos por los F.L.A.

- **Río Yanuncay**

#### Resultados de Análisis de Características Fisca

**Tesis:** Tecnología no convencional para la potabilización del agua

**Río:** Yanuncay

**Vel. De filtración:** 0.12 m/h

**Unidad:** Filtro lento de arena



**Realizador por:** Alfredo Cáceres - Xavier Sánchez Aguilera

**Caudal filtrado:** 1,23 l/mm

Muestra #	Fecha	Hora	Color Aparente U. C.			Turbiedad U. T.			Perdida carga (cm)
			entrada	salida	% remoción	entrada	salida	% remoción	
1	15/11/1996	8:20	12	12	0	2.2	2	9.090909	7
2	18/11/1996	8:00	12	12	0	1.3	1.3	0	7
3		8:40	13	12	7.692308	1.3	1.3	0	7
4		12:20	17	14	17.64706	1.8	1.6	11.111111	7
5	19/11/1996	8:00	13	11	15.38462	1.5	1.5	0	7
6		8:40	13	11	15.38462	1.4	1.3	7.142857	7
7		9:20	13	10	23.07692	1.3	1.1	15.38462	7
8		12:20	16	9	43.75	1.6	1.5	6.25	7
9	20/11/1996	8:00	10	10	0	1.4	1.3	7.142857	7
10		8:40	10	10	0	1.2	1.2	0	7
11		9:20	10	10	0	1.3	1.2	7.692308	7
12		12:20	10	10	0	1.2	1.2	0	7
13	21/11/1996	8:00	15	14	6.666667	1	1	0	7
14		8:40	20	14	30	1.2	0.8	33.333333	7
15		9:20	15	15	0	1.1	1.1	0	7
16		12:20	13	10	23.07692	1.2	1	16.6667	7

### Resultados de Análisis de Características Bacteriológicas

**Tesis:** Tecnología no convencional para la potabilización del agua

**Rio:** Yanuncay

**Vel. De filtración:** 0.12 m/h

**Unidad:** Filtro lento de arena

**Realizador por:** Alfredo Cáceres - Xavier Sánchez Aguilera

**Caudal filtrado:** 1,23 l/mm

Muestr	Fecha	Hora	Coliformes Totales	Coliformes Fecales	Perdid
--------	-------	------	--------------------	--------------------	--------





a #			NMP/100			NMP/100			a carga (cm)
			entrada	salida	% remoción	entrada	salida	% remoción	
1	30/10/1996	13:00	900	300	6.66667	220	170	22.72727	7
2	19/11/1996	8:20	700	500	28.57143	500	300	40	7
3	21/11/1996	8:00	80	40	50	60	20	66.66667	7

**Tabla 18. % de remoción del agua cruda del río Yanuncay utilizando F.L.A.**

Realizando los promedios de las muestras de los % de remoción se determinó lo siguiente: Para las características bacteriológicas: Los coliformes totales tienen un 28.5 % de remoción aproximadamente y los coliformes fecales un 43% de remoción aproximadamente. Para las características físicas: El color tiene un 11.5% de remoción aproximadamente y la turbiedad un 7.2% de remoción. Donde se puede observar que las características bacteriológicas son removidas en un mayor porcentaje.

- **Río Tarqui**

### Resultados de Análisis de Características Físicas y Bacteriológicas

Unidad: Filtro lento de arena

Río: TARQUI

Estación: Planta de Tarqui

Muestra #	Fecha	D.B.O			Turbiedad U. T.		
		entrada	salida	% remoción	entrada	salida	% remoción
1	31/03/2010	1.1	1	9.091	7.88	6.65	15.6091
2	05/07/2010	1.1	1.1	0	8.75	7.75	11.4285
3	22/09/2010	2.2	2.2	0	4.85	4.65	4.124
4	08/12/2010	0.2	0.1	50	6.39	5.45	14.710

Muestra #	Fecha	Oxígeno disuelto			Coliformes Fecales NMP/100		
		entrada	salida	% remoción	entrada	salida	% remoción
1	31/03/2010	6.85	6.85	0	7900	4300	45.5696
2	05/07/2010	7.15	7	2.098	7900	4000	49.367
3	22/09/2010	7.75	7.75	0	11000	5200	52.7272



4	08/12/2010	8.4	7.7	8.333	54000	2300	95.741
---	------------	-----	-----	-------	-------	------	--------

Muestra #	Fecha	PH			FOSFATOS		
		entrada	salida	% remoción	entrada	salida	% remoción
1	31/03/2010	7.32	7.21	1.503	0.4	0.4	0
2	05/07/2010	7.14	7.06	1.120	0.183871	0.183871	0
3	22/09/2010	7.64	7.42	2.880	0.858065	0.704839	17.85714244
4	08/12/2010	7.61	7.4	2.760	1.195161	0.551613	53.8461429

**Tabla 19. % de remoción del agua cruda del río Tarqui utilizando F.L.A.**

### Resultados de Análisis de Características Físicas y Bacteriológicas

Unidad: Filtro lento de arena

Rio: TARQUI

Estación: Planta Victoria del Portete

Muestra #	Fecha	D.B.O			Turbiedad U. T.		
		entrada	salida	% remoción	entrada	salida	% remoción
1	31/03/2010	1.5	1.3	13.333	14.8	7.46	49.595
2	05/07/2010	1	1	0	5.28	4.73	10.42
3	22/09/2010	1.7	1.7	0	4.34	4.24	2.304
4	08/12/2010	1.1	1.1	0	4.15	4.13	0.482

Muestra #	Fecha	Oxigeno disuelto			Coliformes Fecales NMP/100		
		entrada	salida	% remoción	entrada	salida	% remoción
1	31/03/2010	6.8	6.2	8.824	1400	800	42.857
2	05/07/2010	7.7	7.1	7.792	3300	1320	60
3	22/09/2010	8	7.4	7.50	230	150	34.7863
4	08/12/2010	6.75	6.2	8.148	4600	1470	68.043

Muestra	Fecha	PH			FOSFATOS		
---------	-------	----	--	--	----------	--	--



#							
		entrada	salida	% remoción	entrada	salida	% remoción
1	31/03/2010	7.07	7.07	0	0.46	0.43	6.522
2	05/07/2010	6.93	6.93	0	0.1225806	0.1225806	0
3	22/09/2010	8.01	8.01	0	0.6129032	0.582258	5.000
4	08/12/2010	6.93	6.93	0	0.582258	0.3370968	42.105

**Tabla 20. % de remoción del agua cruda del río Tarqui utilizando F.L.A.**

### Resultados de Análisis de Características Físicas y Bacteriológicas

Unidad: Filtro lento de arena

Estación: Planta de Quingeo

Muestra #	Fecha	D.B.O			Turbiedad U. T.		
		entrada	salida	% remoción	entrada	salida	% remoción
1	31/03/2010	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
2	05/07/2010	0.5	0.5	0	10.08	10	0.794
3	22/09/2010	2.1	0.9	57.143	5.72	5.43	5.070
4	08/12/2010	0.1	0.1	0	17	17	0

Muestra #	Fecha	Oxígeno disuelto			Coliformes Fecales NMP/100		
		entrada	salida	% remoción	entrada	salida	% remoción
1	31/03/2010	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
2	05/07/2010	7.1	7	1.408	4600	2200	52.174
3	22/09/2010	7.1	N/D	N/D	17000	3500	79.412
4	08/12/2010	6.8	6.7	1.471	11000	7000	36.364

Muestra #	Fecha	PH			FOSFATOS		
		entrada	salida	% remoción	entrada	salida	% remoción
1	31/03/2010	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
2	05/07/2010	7.62	7.48	1.837	0.0919355	0.0919355	0
3	22/09/2010	8.17	8.03	1.714	0.2145161	0.2145161	0
4	08/12/2010	7.86	7.86	0	1.409677	0.1532258	89.13043



**Tabla 21. % de remoción del agua cruda utilizando F.L.A.**

Analizando los porcentajes de remoción obtenidos en las tres estaciones y realizando los promedios de las muestras de los % de remoción se determinó lo siguiente:

- Estación: Planta Tarqui

Las características físicas: la turbiedad un 11.5% de remoción. Las características bacteriológicas: Los coliformes fecales un 60.9% de remoción.

- Estación: Planta Victoria del Portete

Las características físicas: la turbiedad un 15.7% de remoción. Las características bacteriológicas: Los coliformes fecales un 51.4% de remoción.

- Estación: Planta Quingeo

Las características físicas: la turbiedad un 5.3% de remoción. Las características bacteriológicas: Los coliformes fecales un 56% de remoción aproximadamente.



### 3.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La utilización de filtros lentos de arena en la purificación del agua superficial de nuestra región para consumo es factible, puesto que se ha comprobado mediante los análisis realizados (microbiológico) que los niveles de contaminación bajaron en un porcentaje considerable para los dos ríos analizados:

- **Río Yanuncay**

Bajo en un porcentaje de 28.4 % en remoción de Coliformes Totales y en un 43.13% en Coliformes Fecales.

- **Río Tarqui**

En este río se registran dos estaciones, las cuales se detallan a continuación con sus respectivos porcentajes de remoción:

- Estación: Planta Tarqui

Bajo en un porcentaje de 60.85% en Coliformes Fecales.

- Estación: Planta Victoria del Portete

Bajo en un porcentaje de 51.42% en Coliformes Fecales.

- En el río Yanuncay los datos de los análisis sobre las características del agua cruda fueron tomados de una tesis realizada en el año de 1996, donde los contaminantes bacteriológicos se encuentra en menor cantidad con respecto del río Tarqui datos obtenidos en la Planta de Ucubamba realizados en el año 2010, pensamos que esto se produce debido a que hay un crecimiento poblacional y un menor cuidado de nuestros afluentes, por lo tanto la utilización de los F.L.A son muy apropiados debido a que estos nos permiten remover una buena cantidad de contaminantes bacteriológicos y su eliminación completa.
- Notamos que el agua en determinado tiempo cambia debido a las condiciones climatológicas y las estaciones del año.



- Los filtros lentos son más eficientes y más fáciles de mantener que los filtros rápidos sin embargo tienen limitaciones como son la turbiedad no puede ser tan alta. Pero debido a que la turbiedad del agua de la captación en los dos ríos que está destinada para la potabilización de agua, es permisible el uso de este tipo de filtros.
- Se deben instalar barreras que impidan la entrada de la luz solar directa a los filtros con el fin de controlar un factor determinante del crecimiento de las algas en los filtros.
- Disponibilidad de grandes áreas para las instalaciones de los sistemas de filtración.
- Se debe hacer un plan de concientización de la ciudadanía para enseñarle a usar de forma óptima el agua y así poder cuidar nuestro recurso natural más valorado que es el agua.

### 3.3 BIBLIOGRAFIA

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (Denver, US). Research Foundation. Manual of design for slow sand filtration. Denver (US), AWWA, 1991.

Alfredo Cáceres - Xavier Sánchez Aguilera “Tesis: Tecnología no convencional para la potabilización del agua.”

**Ing. Vargas de Cánepa Lidia**, Asesora en Tratamiento de Agua para Consumo Humano, “PLANTAS DE TRATAMIENTO DE FILTROS LENTOS”, en <http://www.bvsde.ops oms.org/eswww/fulltext/trataqua/lenta/lenta1.html>

Calculo del filtro lento de arena, en <http://www.qits.ws/08cyd/pdfs/A2-FiltroArenaSanLuis.pdf>

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE FILTRACIÓN DE MÚLTIPLES ETAPAS, en [http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacq/guialcalde/2sas/d23/030\\_Construcci%C3%B3n\\_tratamiento\\_Filtraci%C3%B3n\\_ME/Construcci%C3%B3n\\_tratamiento\\_Filtraci%C3%B3n\\_ME.pdf](http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacq/guialcalde/2sas/d23/030_Construcci%C3%B3n_tratamiento_Filtraci%C3%B3n_ME/Construcci%C3%B3n_tratamiento_Filtraci%C3%B3n_ME.pdf)

ASPECTOS AMBIENTALES, en <http://www.ingenieroambiental.com/3007/aspectos%20ambientales%20del%20tratamiento%20de%20aguas.pdf>

FILTRACIÓN LENTA, en <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacq/fulltext/desinfeccion/capitulo5.pdf>

PRINCIPIOS DE FILTRACION LENTA EN ARENA, en <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan/010758/010758%20-04.pdf>



FILTRACIÓN BIOLÓGICA DE LAS AGUAS DE POZO PARA LA POTABILIZACIÓN, en [http://www.eurotecwtt.it/es/filtrazione\\_bio.htm](http://www.eurotecwtt.it/es/filtrazione_bio.htm)

Félix Willy, Cristóbal Escobar Descripción Hidráulica de la Batería de planta No.1, en [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/ingenie/cristobal\\_ef/cap02.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/ingenie/cristobal_ef/cap02.pdf)

### 3.4 ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. DETALLES DE UN FILTRO LENTO DE ARENA.....	5
FIGURA 2. ESQUEMA DE UN FILTRO LENTO CON REGULACIÓN EN LA ENTRADA. ....	6
FIGURA 3. DETALLE DE CAJA DE FILTRO LENTO DE ARENA. ....	7
FIGURA 4. SISTEMA DE INGRESO AL FILTRO LENTO DE ARENA. ....	9
FIGURA 5. COMPONENTES BÁSICOS DE UN FILTRO LENTO DE ARENA CON CONTROL A LA SALIDA. ....	10
FIGURA 6. COMPONENTES BÁSICOS DE UN FILTRO LENTO DE ARENA CON CONTROL A LA ENTRADA.....	11
FIGURA 7. MEDIDOR O LECHO DE SOPORTE. . 1¡ <b>ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	
FIGURA 8. SISTEMA DE DRENAJE DEBAJO DE LA CAJA DEL FILTRO. ....	13
FIGURA 9. SISTEMAS COMUNES DE DRENAJE UTILIZADOS EN FILTROS LENTOS DE ARENA.....	14
FIGURA 10. ESTRUCTURA DE SALIDA DE UN FILTRO CON CONTROL A LA SALIDA. ....	15
FIGURA 11. CONTROL MANUAL CON VERTEDERO Y VÁLVULA O COMPUERTA .....	16
FIGURA 12. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA INSTALACIÓN DE UN FILTRO LENTO DE ARENA. ....	16
FIGURA 13. POSIBLE DISPOSICIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA. ....	24
FIGURA 14. CAJA DEL FILTRO LENTO DE ARENA CON DRENAJE, SOPORTE DE GRAVA, ARENA, CARGA DE AGUA.3¡ <b>ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	
FIGURA 15. DISTRIBUCIÓN DE LOS TAMAÑOS DE GRANOS DE ARENA. 33	
FIGURA 16. MECANISMOS DE TRANSPORTE.....	35



FIGURA 17. ESQUEMA DE UN SISTEMA DE LAVADO DE ARENA. ....	41
FIGURA 18. REARENAMIENTO DE UN FILTRO LENTO.....	43
FIGURA 19. SISTEMA DE REARENAMIENTO DE UN FILTRO LENTO. ....	43
FIGURA 20. HERRAMIENTAS USADAS PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO. ....	44
FIGURA 21. EFECTO DE PURIFICACIÓN DE UN FILTRO MADURO.....	45

### 3.5 ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. GRANULOMETRÍA DE LA CAPA SOPORTE. ....	17
TABLA 2. VELOCIDAD DE FILTRACIÓN DE ACUERDO AL NÚMERO DE PROCESOS PRELIMINARES. ....	18
TABLA 3 Y TABLA 4. CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO PARA FILTROS LENTOS DE ARENA.....	24
TABLA 5. GUÍAS DE CALIDAD DE AGUA PARA SELECCIÓN DE FILTRACIÓN LENTA CON ARENA. ....	26
TABLA 6. TAMAÑOS DE ARENA PARA FILTROS LENTOS DE ARENA EN EUROPA. ....	34
TABLA 7. PROCEDIMIENTO PARA PONER EN SERVICIO UN FILTRO NUEVO. ....	40
TABLA 8. PROCEDIMIENTO PARA LIMPIAR UN LECHO FILTRANTE.....	42
TABLA 9. ESTIMACIÓN DEL COSTO PROMEDIO PARA EL ÁREA DEL LECHO FILTRANTE. ....	46
TABLA 10. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y BACTEREOLÓGICAS DEL RÍO YANUNCAY.....	48





TABLA 11. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CARACTERISTICAS FÍSICAS Y BACTEREOLÓGICAS DEL RÍO TARQUI.....	49
TABLA 12. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CARACTERISTICAS FÍSICAS Y BACTEREOLÓGICAS DEL RÍO TARQUI.....	50
TABLA 13. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CARACTERISTICAS FÍSICAS Y BACTEREOLÓGICAS .....	51
TABLA 14. EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO YANUNCAY. ....	52
TABLA 15. EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO TARQUI. ..	53
TABLA 16. EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO TARQUI. ..	54
TABLA 17. EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA .....	5¡ERROR! <b>MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
TABLA 18. % DE REMOCIÓN DEL AGUA CRUDA DEL RÍO YANUNCAY UTILIZANDO F.L.A. ....	55
TABLA 19. % DE REMOCIÓN DEL AGUA CRUDA DEL RÍO TARQUI UTILIZANDO F.L.A. ....	56
TABLA 20. % DE REMOCIÓN DEL AGUA CRUDA DEL RÍO TARQUI UTILIZANDO F.L.A. ....	57
TABLA 21. % DE REMOCIÓN DEL AGUA CRUDA DEL UTILIZANDO F.L.A.	58