

# GUÍA PARA DISEÑO DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS



Lima, 2005

## Tabla de contenido

	<b>Página</b>
1. Introducción.....	3
2. Objetivos.....	3
3. Definiciones y abreviaturas.....	3
4. Aplicación.....	4
5. Consideraciones generales	
5.1. Estudio de campo.....	5
5.2. La fuente.....	5
5.3. Calidad de agua cruda.....	5
5.4. Captación de agua.....	5
5.5. Canal de entrada.....	6
5.6. Control y medición de caudal.....	6
6. Filtración en múltiples etapas	
6.1 Filtro grueso dinámico.....	6
6.2 Filtro grueso ascendente.....	7
6.3 Filtro lentote arena.....	8
7. Alternativas de tratamiento FiME.....	9
8. Otras alternativas de pretratamiento.....	10
9. Análisis de riesgo y vulnerabilidad.....	11
10. Criterios de diseño de los componentes	
10.1. Consideraciones específicas.....	11
10.2. Filtro grueso dinámico.....	12
10.3. Filtro grueso ascendente.....	15
10.4. Filtro lento de arena.....	18
11. Bibliografía.....	22
Anexos.....	23

## Guías para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas

### 1. Introducción

La tecnología de Filtración en Múltiples Etapas (FiME) consiste en la combinación de procesos de filtración gruesa en grava y filtros lentos de arena. Esta tecnología debe estar precedida de un detallado proceso de análisis técnico, social y de las capacidades locales de construcción y operación de la planta. En particular, constituye un factor crítico la disponibilidad de asistencia técnica a corto y mediano plazo.

La FiME puede estar conformada por dos o tres procesos de filtración, dependiendo del grado de contaminación de las fuentes de agua. Integrada por tres procesos: Filtros Gruesos Dinámicos (FGDi), Filtros Gruesos Ascendentes en Capas (FGAC) y Filtros Lentos de Arena (FLA). Los dos primeros procesos constituyen la etapa de pretratamiento, que permite reducir la concentración de sólidos suspendidos.

Conforme circula el agua las partículas más pequeñas son eliminadas, hasta llegar al filtro lento de arena, reconocido como una tecnología sencilla, confiable y eficiente, pues puede producir agua de baja turbiedad, libre de impurezas suspendidas y virtualmente libre de entero-bacterias, entero-virus y quistes de protozoarios.

### 2. Objetivo

Proporcionar criterios básicos de diseño para la implementación de una planta de filtración en múltiples etapas (FiME) en un medio rural.

### 3. Definiciones y abreviaturas

#### Definiciones

- **Afluente:** Líquido que ingresa a un componente.
- **Agua cruda:** agua no sometida al proceso de tratamiento.
- **Caudal:** Volumen expresado en litros por segundo (lps) para el cual es diseñada la unidad.
- **Control:** Proceso permanente y sistemático de comprobación, mediante programas establecidos de muestreo y otros procedimientos.
- **Desinfección:** Proceso que consiste en eliminar los microorganismos patógenos que pueden estar presentes en el agua, mediante el uso de equipos especiales o sustancias químicas.
- **Efluente :**Líquido que sale de un proceso de tratamiento
- **Filtro:** Elemento que, interpuesto en un flujo, permite eliminar parte de los elementos de ese flujo, normalmente elementos no deseados.
- **Múltiples etapas de tratamiento:** Implica tener más de una etapa de tratamiento.

- **Materia Orgánica Natural o Color Real:** Asociado a carbono orgánico disuelto o sustancias húmicas.
- **pH:** Medida de la acidez ( $< 7$ ) o alcalinidad ( $> 7$ ) de un compuesto.
- **Turbiedad:** Falta de Claridad de un líquido, causada por las partículas suspendidas. Definido por la medida de dispersar la luz a través de una muestra. Se usan índices como FTU, NTU, etc.

### Abreviaturas

- **Ad:** área del dren (m<sup>2</sup>)
- **Af:** Área del filtro de cada unidad (m<sup>2</sup>).
- **A<sub>L</sub>:** área lateral de la tubería (m<sup>2</sup>).
- **Ao:** área del orificio (m<sup>2</sup>)
- **As:** Área superficial (m<sup>2</sup>)
- **At:** Área total del filtro (m<sup>2</sup>).
- **b:** Ancho de unidad (m).
- **dh:** diámetro hidráulico (m)
- **FGDi:** Filtro grueso dinámico.
- **FGAC:** Filtro grueso ascendente en capas.
- **FGAS:** Filtro grueso ascendente en serie, pueden ser en series de 2 (FGAS2) o en serie de 3 (FGAS3).
- **FLA:** Filtro lento de arena.
- **H:** altura (m).
- **hf:** pérdida de carga (m)
- **K:** coeficiente mínimo costo.
- **L:** longitud de unidad (m).
- **N:** Número de filtros.
- **n:** número de orificios
- **NTU:** Nephelometric Turbidity Unit. Unidad de la turbiedad (carencia de la claridad) obtenida midiendo la dispersión de la luz en un líquido.
- **P:** perímetro de dren (m)
- **Qd:** caudal de diseño (m<sup>3</sup>/h).
- **Qf:** caudal del filtro (m<sup>3</sup>/h).
- **Qmd:** Caudal máximo diario (m<sup>3</sup>/s)
- **Qs:** caudal disponible para lavado (m<sup>3</sup>/s)
- **Qt:** caudal total (m<sup>3</sup>/h).
- **Vf:** velocidad de filtración (m/h)
- **VR:** Velocidad de filtración real (m/h)
- **Vs:** velocidad superficial para lavado (m/s)

## 4. Aplicación

La filtración en múltiples etapas será aplicada en sistemas de tratamiento para poblaciones rurales o pequeñas localidades, cuya fuente de abastecimiento de agua se ajuste a las normas de calidad de agua cruda requeridas para un tratamiento por FiME.

## 5. Consideraciones generales

### 5.1. Estudio de campo

Análisis detallado de las características de la zona de estudio. Se considera el análisis de fuentes, de calidad de agua, análisis de vulnerabilidad y riesgo, levantamiento topográfico, entre otros.

### 5.2. La fuente

El agua que ingresa al sistema es de tipo superficial, proviene de un río o riachuelo de montaña. Por lo tanto, se debe disponer de toda la información posible sobre la fuente: caudales, variaciones por estación, niveles máximos y mínimos, calidad de agua cruda, por lo menos en los tres últimos años.

### 5.3. Calidad de agua cruda

Por ser un sistema aislado de posible contaminación industrial, se debe tener en cuenta básicamente los parámetros de turbiedad, color real y coliformes fecales.

Tabla 1. Resumen de rangos de calidad de agua en fuentes superficiales para orientar la selección de opciones de FiME.

RANGO	NIVEL PROMEDIO
Bajo	Turbiedad < 10 UNT Coliformes Fecales < 500 UFC/100 ml Color Real < 20 UPC
Intermedio	Turbiedad 10 - 20 UNT Coliformes Fecales 500 - 10000 UFC/100 ml Color Real 20 - 30 UPC
Alto	Turbiedad 20 - 70 UNT Coliformes Fecales 10000 - 20000 UFC/100 ml Color Real 30 - 40 UPC

En aquellos lugares donde se tenga evidencia de la existencia de sustancias nocivas o metales pesados se deberán exigir los análisis respectivos.

### 5.4. Captación del agua

La forma más simple de captar el agua es a través de una tubería o un canal. Se debe considerar las posibles inundaciones, épocas de avenida y estiaje, evaluar la topografía del terreno para asegurar un buen nivel de entrada al filtro.

### 5.5. Canal de entrada

Se recomienda construir un canal en lugar de una tubería, ya que el canal facilita la limpieza e inspección. Los problemas pueden detectarse a través de la observación directa y la calidad del agua se puede determinar sin necesidad de ir hasta el río (en caso de que estuviera lejos). Sin embargo, la instalación de una tubería es más simple, económica y rápida.

### 5.6. Control y medición de caudal

Se debe controlar y medir el caudal total que se va a tomar del río y el caudal del agua filtrada que abastecerá a la comunidad. Para la primera tarea se utiliza un canal de entrada con una compuerta regulable y por medio de un vertedero independiente en “V” se realiza una regulación más exacta. Para la segunda medición se puede utilizar un medidor de efluente instantáneo y otro volumétrico.

## 6. Filtración en múltiples etapas

La filtración en múltiples etapas (FiME) es la combinación unidades de pretratamiento con filtración en grava (FGDi y FG) y unidades de tratamiento con filtración lenta en arena (FLA) con la finalidad de obtener un efluente de calidad sin necesidad de la utilización reactivos químicos durante el proceso.

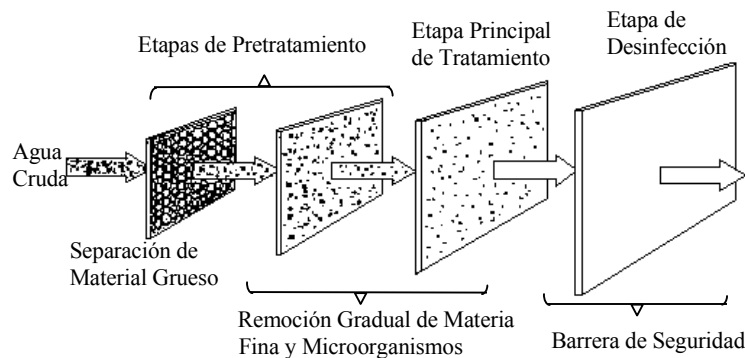


Figura 1: Procesos que integran la FiME.

### 6.1. Filtración Gruesa Dinámica (FGDi)

Los filtros dinámicos son tanques que contienen una capa delgada de grava fina (6 a 13mm) en la superficie, sobre un lecho de grava más grueso (13-25mm) y un sistema de drenaje en el fondo.

Esta unidad es utilizada para reducir los extremos de los picos de turbiedad y proteger de esta manera la planta de tratamiento ante altas cargas de sólidos transportadas por la fuente durante unas pocas horas.

Cuando la fuente transporta valores elevados de sólidos fácilmente sedimentables, estos se depositan en la superficie del lecho de grava, colmatándolo rápidamente y restringiendo parcial o totalmente el paso de agua. Esta respuesta protege las unidades de tratamiento siguientes.

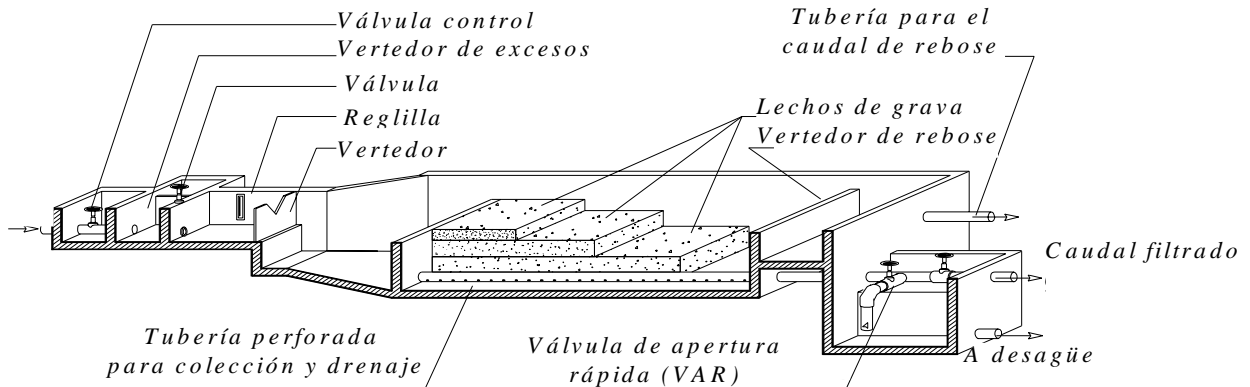


Figura 2: Esquema isométrico de un filtro grueso dinámico.

## 6.2. Filtración Gruesa (FG)

Los filtros gruesos de grava pueden ser de flujo horizontal o vertical. Consiste en un compartimiento principal donde se ubica un lecho filtrante de grava. El tamaño de los granos de grava disminuye con la dirección del flujo.

Para el caso de un filtro de flujo ascendente se tiene un sistema de tuberías, ubicado en el fondo de la estructura, permite distribuir el flujo de agua en forma uniforme dentro del filtro.

Conforme funciona el filtro, los espacios vacíos se van colmatando con las partículas retenidas del agua, por lo cual se requiere una limpieza semanal controlada mediante las válvulas de apertura a la salida de la unidad.

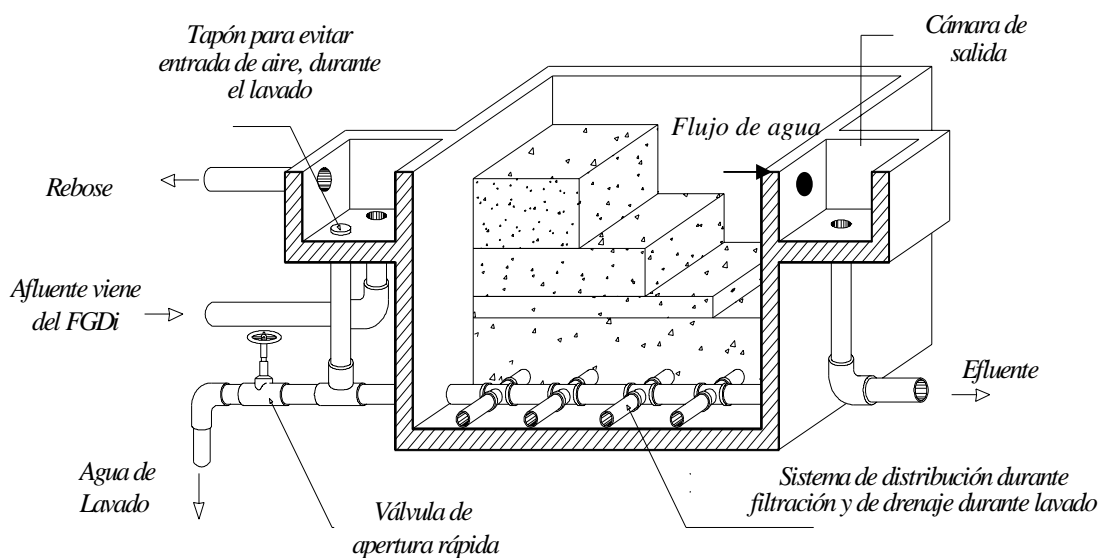


Figura 3: Esquema isométrico de un filtro grueso ascendente en capas.

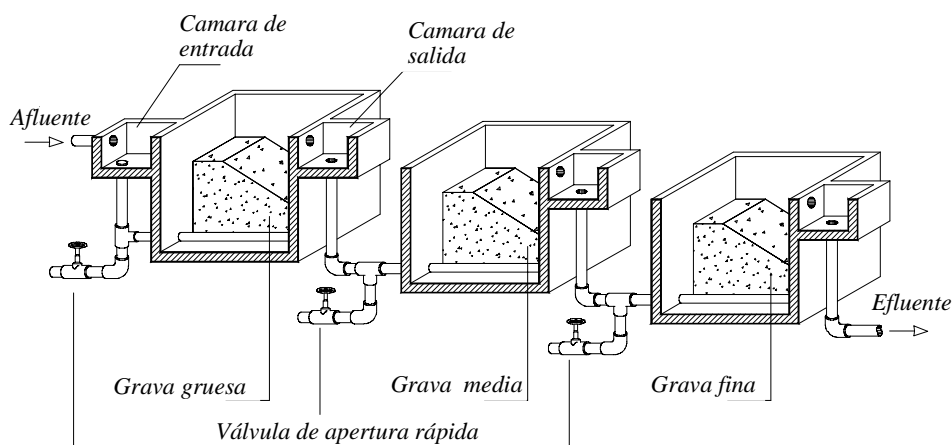


Figura 4: Corte isométrico de un filtro grueso ascendente en serie.

### 6.3. Filtración Lenta en Arena (FLA)

El tratamiento del agua en una unidad de FLA es el producto de un conjunto de mecanismos de naturaleza biológica y física, los cuales interactúan de manera compleja para mejorar la calidad microbiológica del agua.

Consiste en un tanque con un lecho de arena fina, colocado sobre una capa de grava que constituye el soporte de la arena la cual, a su vez, se encuentra sobre un sistema de tuberías perforadas que recolectan el agua filtrada. El flujo es descendente, con una velocidad de filtración muy baja que puede ser controlada preferiblemente al ingreso del tanque.



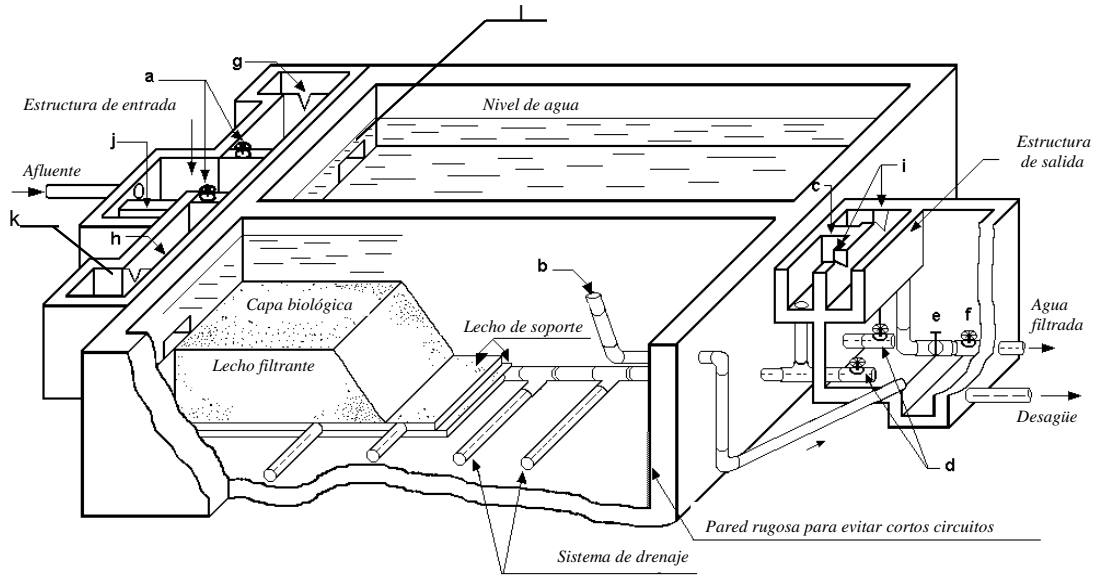


Figura 5: Componentes básicos de un FLA con control a la entrada.

- a. Válvula para controlar entrada de agua pretratada y regular velocidad de filtración
- b. Dispositivo para drenar capa de agua sobrenadante, “cuello de ganso”.
- c. Conexión para llenar lecho filtrante con agua limpia
- d. Válvula para drenar lecho filtrante
- 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.
- j. Vertedero de excesos
- k. Cámara de entrada a FLA
- l. Ventana de acceso a FLA

## 7. Alternativas de tratamiento FiME

Dependiendo de los parámetros seleccionados de calidad de agua, la eficiencia de las etapas de tratamiento y consideraciones de costos se pueden adoptar las siguientes alternativas de tratamiento FiME:

- FGD<sub>i</sub> + FLA
- FGD<sub>i</sub> + FGAC + FLA
- FGD<sub>i</sub> + FGAS + FLA

La prefiltración gruesa continua o en serie dependerá de la calidad del afluente y las condiciones físicas del lugar.




Las condiciones mínimas requeridas para la adopción de un sistema de filtración por múltiples etapas serán asumidas de acuerdo a la Tabla 2.

Tabla 2. Modelo para la selección de un sistema de tratamiento de agua por filtración en múltiples etapas, FiME. (Todas las opciones incluyen FGD<sub>i 2.0</sub> y FLA<sub>0.15</sub>)

Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	Turbiedad (UNT)	< 10	10-20	20-50	50-70 (*)
	Color Real (UC)	< 20	20-30	30-40	30-40 (*)
< 500	Sin FGA		FGAC <sub>0.6</sub>	FGAC <sub>0.45</sub>	FGAS <sub>3.0.3</sub>
500 - 10000	FGAC <sub>0.6</sub>	FGAC <sub>0.6</sub>	FGAC <sub>0.6</sub>	FGAC <sub>0.45</sub>	FGAS <sub>3.0.3</sub>
10000 - 20000 (*)	FGAC <sub>0.45</sub>	FGAC <sub>0.45</sub>	FGAC <sub>0.45</sub>	FGAC <sub>0.45</sub>	FGAS <sub>3.0.3</sub>

(\*) Para valores superiores a 70 UNT; 20000 UFC/100 ml o 40 UC, se recomienda realizar estudio en planta piloto.  
(El subíndice indica la velocidad de filtración recomendada en m/h)

Clasificación de fuentes según el rango de calidad :

-  Bajo
-  Medio
-  Alto

FGDi - FILTRO GRUESO DINAMICO  
FGAC - FILTRO GRUESO ASCENDENTE EN CAPAS  
FGAS3 - FILTRO GRUESO ASCENDENTE EN SERIE (3 ETAPAS)  
FGH3 - FILTRO GRUESO HORIZONTAL (3 ETAPAS)  
FLA - FILTRO LENTRO ARENA

## 8. Otras alternativas de pretratamiento

Existen otras posibilidades de pretratamiento o acondicionamiento del agua de la fuente que pueden ser utilizadas en combinación con la filtración en múltiples etapas, tales como pozos o galerías de infiltración, sedimentadores y desarenadores. Dependiendo de las características del agua en la fuente y/o de las características del suelo a través del cual debe percolar el agua a captar.

a) **Pozo de Infiltración:** Filtración del agua a orillas de los ríos mediante pozos.

- b) **Galería de Infiltración:** Captación del agua infiltrada mediante tuberías perforadas colocadas en los lechos de los ríos.
- c) **Sedimentador:** La sedimentación es un proceso físico que permite reducir el contenido de sólidos suspendidos presentes en el agua.
- d) **Desarenador:** Tiene por objeto separar del agua cruda arena y partículas en suspensión gruesa.

## 9. Análisis de riesgo y vulnerabilidad

Las instalaciones de tratamiento tienen que ser diseñadas bajo un análisis de riesgo y vulnerabilidad ante situaciones de desastres naturales y/o condiciones del entorno local a fin de proteger la infraestructura y el servicio de agua a la población.

- a) **Análisis de riesgo:** Los diseños deben contemplar los riesgos que conllevan las amenazas más frecuentes de fenómenos naturales y otros predominantes en la zona: lluvias, sequías, sismos, etc.
- b) **Vulnerabilidad:** De las estructuras e instalaciones a:
  - Crecidas e inundaciones
  - Períodos de sequía
  - Contaminación de la fuente
  - Intensidad y magnitud de sismos

## 10. Criterios de diseño de los componentes

### 10.1. Consideraciones específicas

- a) **Periodo de diseño:** Se recomienda un período de diseño de las instalaciones entre 8 y 12 años de manera que guarde armonía con la dinámica de crecimiento de la población y con el costo de oportunidad de acceso a la financiación del proyecto.
- b) **Periodo de operación:** Las unidades de tratamiento deben ser diseñados para periodos de operación de 24 horas, siendo 2 el número mínimo de unidades en paralelo y así alternarlas cada vez que se requiera realizar mantenimiento. La continuidad en la prestación del servicio evita riesgos de contaminación en la distribución, en almacenamientos inadecuados o en la operación de la planta.
- c) **Caudal de diseño:** Las unidades en una planta de tratamiento serán diseñadas para el caudal máximo diario.

## 10.2. Filtro grueso dinámico

Los diferentes elementos que constituyen un filtro grueso dinámico generalmente son: a) cámara de filtración, b) lechos filtrante y de soporte, c) estructuras de entrada y salida, d) sistema de drenaje y cámara de lavado y e) accesorios de regulación y control.

### a) Cámara de filtración:

Las dimensiones del ancho de la unidad, están condicionadas por el caudal disponible para el lavado superficial y la velocidad superficial de flujo.

La cámara debe tener la capacidad suficiente para contener el sistema de drenaje, lecho filtrante y la altura de agua sobre el lecho (carga hidráulica). El borde libre debe tener 0.2 metros.

La razón largo / ancho será de 3:1 a 6:1, recomendable para diseño 5:1 ó según sea la realidad de la zona en estudio.

### b) Lecho filtrante y de soporte:

Para el lecho filtrante se recomienda la siguiente granulometría y espesor de capas.

Posición en la Unidad	Espesor de la Capa (m)	Tamaño de Grava (mm)
Superior	0.20	3.0 - 6.0
Intermedio	0.20	6.0 - 13.0
Inferior, Fondo	0.20	13.0 - 25.0

Para el lecho de soporte se recomienda las siguientes características.

Capa	Tipo	Diámetro de la partícula (mm)	Espesor de la capa (mm)
Superior	Arena gruesa	1 - 2	50
Segunda	Grava fina	2 - 5	50
Tercera	Grava	5 - 10	50
Inferior	Grava gruesa	10 - 25	150

La velocidad de filtración varía entre los 2.0 a 3.0 m/h dependiendo de la calidad del agua cruda. A mayor contaminación del agua afluente menor velocidad de filtración.

### c) Estructuras de entrada y de salida:

La estructura de entrada consta de una cámara para remoción de material grueso y una cámara de disipación. El agua ingresa por una tubería a la cámara que contiene un

vertedero de excesos y una reglilla de aforo, donde se remueve el material grueso. Inmediatamente, ingresa a una cámara de disipación por medio de un vertedero de entrada.

La estructura de salida esta compuesta por una tubería perforada ubicada en la parte inferior del lecho filtrante. Esta a su vez cumple la función de drenaje y recolección de agua filtrada.

**d) Sistema de drenaje y cámara de lavado:**

El sistema de drenaje es una tubería de perforada que cumple la función de recolección de agua filtrada también y regulado por válvulas.

Las cámaras de lavado deben ser amplias, seguras y de fácil acceso, sus dimensiones deben ser tales que faciliten el desplazamiento y maniobrabilidad del operador, recomendándose áreas superficiales entre 3 y 5 m<sup>2</sup> profundidades entre 0.20 y 0.40 m. La cámara debe ser abastecida con agua cruda para facilitar el mantenimiento eventual del FGD<sub>i</sub>. El conducto de desagüe debe ser calculado para evacuar el caudal máximo de lavado y evitar sedimentación en su interior.

La velocidad superficial de lavado ( $V_s$ ) puede variar entre 0.15 y 0.3 m/s, dependiendo del tipo de material predominante en el agua cruda; se asume una velocidad cercana a 0.15 m/s cuando predominan limos y material orgánico y superior a los 0.2 m/s para arenas y arcillas.

**e) Accesorios de regulación y control:**

La altura del vertedero de salida, medido a partir del lecho superficial de grava fina debe ser entre 0.03 y 0.05 m.

Tabla 3. Resumen de valores de diseño para el FGD<sub>i</sub>.

Criterio	Valores Recomendados
Período de diseño (años)	8 - 12
Período de operación (h/d) (*)	24
Velocidad de filtración (m/h)	2 - 3
Número mínimo de unidades en paralelo	2
Area de filtración por unidad (m <sup>2</sup> )	< 10
Velocidad superficial del flujo durante el lavado superficial (m/s)	0.15 - 0.3
Lecho Filtrante	
· Longitud (m)	0.6
· Tamaño de gravas (mm)	Según Tabla
Altura del vertedero de salida (m)	0.03-0.05 (**)

(\*) En estaciones de bombeo de agua con períodos de bombeo inferiores a 24 h/día, se recomienda proyectar un almacenamiento de agua cruda, a partir del cual se suministre agua de manera continua al FGD<sub>i</sub> y demás componentes.

(\*\*) Medidos a partir del lecho superficial de grava fina.

### **Dimensionamiento**

a) **Número de filtros (N):** Normalmente se consideran como mínimo 2 unidades para casos de mantenimiento o falla de uno de los filtros.

b) **Área total del filtro (At):** El área total del filtro se puede obtener del caudal de agua en m<sup>3</sup>/h y de la tasa de filtración.

$$\text{Área total del filtro (At)} = \frac{\text{Caudal total del filtro}}{\text{Tasa de filtración}}$$

Donde:      Área total del filtro = m<sup>2</sup>  
                 Caudal total = m<sup>3</sup>/h  
                 Tasa filtración = m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h

c) **Área del filtro de cada unidad (Af):**

$$\text{Área del filtro de cada unidad (Af)} = \frac{\text{Área total del filtro (At)}}{\text{Número de unidades (N)}}$$

d) **Caudal del filtro (Qf):**

$$\text{Caudal del filtro (Qf)} = \frac{\text{Caudal total del filtro (Qt)}}{\text{Número de unidades (N)}}$$

e) **Caudal total (Qt):**

$$\text{Caudal total (Qt)} = Q_{md} + R \times Q_{md}$$

(R = razón de flujo)

f) **Caudal de diseño (Qd):**

$$\text{Caudal del diseño} = \frac{\text{Caudal total (Qt)}}{\text{Número de unidades (N)}}$$

g) **Caja de filtro:**

- Relación largo/ancho:  $M = L/b$ , ambos en (m)

Donde,       $b = (Af / N)^{1/2}$   
                  $L_f = L \times 1.2$  longitud de la caja de filtro

El valor de la caja de recuperación de arena (que debe ser 1/5 (20%) de la longitud del filtro) se debe sumar al valor de L.

- Pared de la caja de filtro será:  $H_f = H_{ls} + H_{lf} + H_{bl}$   
 Donde,  $H_f$  : altura de la pared de caja (m)  
 $H_{ls}$  : altura del lecho de soporte (0.3m)  
 $H_{lf}$  : altura de lecho de arena (0.5-0.7m)  
 $H_{bl}$  : altura borde libre (0.2m)

**h) Vertederos triangular o en “V” (detalles Anexo 1):**

- En función de Q y h:  $Q = 775 \times h^{2.47}$
- En función de b, Qs y Vs :  $b = 3.4 \times \frac{Q_s}{(V_s)^3}$

Donde, Q = caudal de entrada (m3/s)  
 Qs = caudal disponible para lavado (m3/seg)  
 b = ancho de estructura (m)  
 Vs = velocidad superficial para lavado (m/seg)

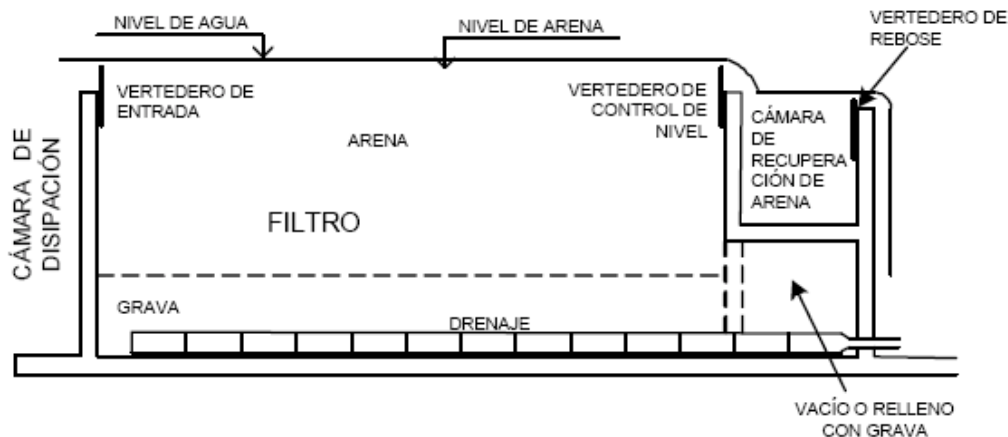


Figura 6. Vertederos en un filtro grueso dinámico.

**10.3. Filtro grueso ascendente**

Un filtro grueso ascendente generalmente está compuesto de: a) cámaras de filtración, b) lecho filtrante, c) estructuras de entrada y salida, d) sistema de drenaje y cámara de lavado y e) accesorios de regulación y control.

**a) Cámaras de filtración:**

La altura total del filtro está determinada por la altura del lecho de grava (incluyendo la capa de soporte), el nivel de agua sobrenadante, la altura de agua adicional para facilitar y mejorar el lavado hidráulico y el borde libre. Está en el rango de 1.1 a 1.5 m.

**b) Lecho filtrante:**

Para el lecho filtrante se recomienda la siguiente granulometría y espesor de capas.

Lecho Filtrante (mm)	Altura (m)					
	FGAC	FGAS 2		FGAS 3		
		1	2	1	2	3
19 - 25	0.30*	0.30*		0.30*	0.20*	
13 - 19	0.20 - 0.30	0.30 - 0.45	0.20*	0.15	0.15*	0.15*
6 - 13	0.15 - 0.20	0.30 - 0.45	0.15*	0.45 - 0.75	0.15*	0.15*
3 - 6	0.15 - 0.20		0.30 - 0.45		0.40 - 0.70	0.15*
1.6 - 3	0.10 - 0.20		0.25 - 0.40			0.45 - 0.75
<b>Total (m):</b>						
• Soporte	0.30	0.30	0.35	0.30	0.50	0.45
• Lecho Filt.	0.60 - 0.90	0.60 - 0.90	0.55 - 0.85	0.60 - 0.90	0.40 - 0.70	0.45 - 0.75

\* Lecho de soporte

En algunos casos la altura del lecho de soporte puede ser superior a lo indicado en la tabla, dependiendo del tamaño de grava predominante en cada unidad, del tamaño de grava en contacto con lecho de soporte y del diámetro de los orificios en el múltiple. Se recomienda una altura de agua sobrenadante de 0.1 a 0.2 m.

**c) Estructuras de entrada y salida:**

La estructura de entrada consiste de un canal pequeño que conduce el agua previamente acondicionada hasta la cámara de entrada a los filtros gruesos. En ella se reúnen 3 tuberías: Tubería de entrada de agua, tubería de rebose y tubería de distribución hacia los el lecho filtrante.

La salida es por recolección del sobrenadante en tuberías que distribuyen el agua filtrada en una cámara que contiene una tubería en la parte inferior para el efluente tratado.

**d) Sistema de drenaje y cámara de lavado:**

La descarga de la tubería de drenaje, debe ubicarse entre 1.5 y 2.0 m por debajo de la losa de fondo del filtro grueso. La carga estática de agua para lavado en contraflujo, que es la diferencia entre el nivel de agua máximo en el filtro grueso ascendente durante el lavado y el nivel de descarga de la tubería de drenaje en la cámara de lavado debe de estar entre los 2.5 y 3.0 m.

**e) Accesorios de regulación y control:**

Los accesorios utilizados en las unidades de Filtración Gruesa incluyen válvulas para regulación de caudal, vertederos y reglillas de aforo, dispositivos que se instalan en la estructura de entrada de cada etapa de tratamiento (anexo 1).



Tabla 4. Guías de Diseño para Filtros Gruesos Ascendentes.

Criterio	Valores Recomendados
Período de diseño (años)	8 - 12
Período de operación (h/d)	24
Velocidad de filtración (m/h)(*)	0.3 - 0.6
Número de unidades en serie	
. FGAC	1
. FGAS	2 - 3
Lecho Filtrante	
Longitud total (m)	
. FGAC	0.60 - 0.90
. FGAS	1.15 - 2.35
Tamaño (mm)	Según tabla
Lecho de soporte total	
. Longitud (m)	0.30 - 1.25
. Tamaño (mm) (**)	Según tabla
Altura sobrenadante de agua (m)	0.10 - 0.20
Carga estática de agua para lavado en contraflujo (m)	2.5 - 3.0
Área de filtración por unidad (m <sup>2</sup> )	15 - 25

(\*) A mayor contaminación del agua afluente, menor velocidad de filtración.

### Dimensionamiento

#### a) Área superficial (As):

$$\text{Área superficial} = \frac{Q_d}{N \times V_f} = b \times L$$

Donde:       $A_s = m^2$   
                $V_f = m/h$   
                $N =$  número de unidades  
                $b =$  ancho de la unidad (m)  
                $L =$  longitud de unidad (m)

#### b) Sistema de distribución: Esta compuesto por un distribuidor y tuberías laterales con orificios.

$$n A_o/A_L \leq 0.42$$

Donde,       $A_o =$  área del orificio  
                $A_L =$  área lateral de la tubería.  
                $n =$  número de orificios

#### c) Sistema de drenaje:

$$n A_o/A_L \leq 0.15$$

Donde,       $A_o =$  área del orificio  
                $A_L =$  área lateral de la tubería.  
                $n =$  número de orificios

#### 10.4. Filtro lento de arena

Una unidad de filtración lenta en arena consta generalmente de los siguientes elementos: a) caja de filtración y estructura de entrada, b) sistema de drenaje, c) lecho filtrante, d) capa de agua sobrenadante y e) dispositivos para regulación, control y rebose.

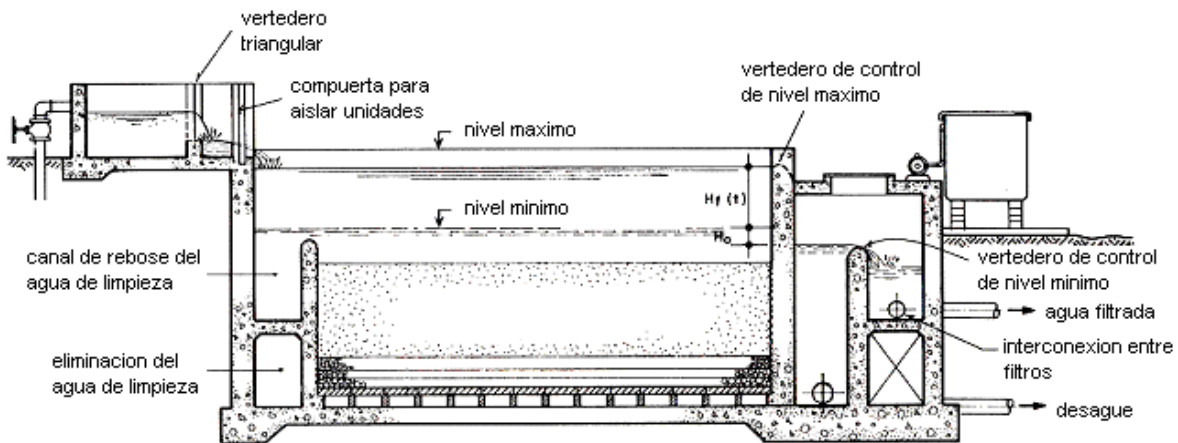


Figura 7. Corte longitudinal de un FLA.

##### a) Caja de filtración y su estructura de entrada:

La caja del filtro posee un área superficial condicionada por el caudal a tratar, la velocidad de filtración y el número de filtros especificados para operar en paralelo.

Se recomiendan áreas de filtración máxima por modulo de 100 m<sup>2</sup> para facilitar las labores manuales de operación y mantenimiento el filtro.

La estructura consta de un vertedor de excesos, canales o conductos para distribución, dispositivos para medición y control de flujo, cámara de entrada y ventana de acceso al filtro propiamente dicho.

##### b) 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.

Tabla 5. Granulometría del lecho filtrante.

Criterios de Diseño	Valores Recomendados
Altura de arena (m)	
Inicial	1.00
Mínima	0.50
Diámetro efectivo (mm)	0.15 - 0.35
Coefficiente de uniformidad	
Aceptable	< 3
Deseable	1.8 - 2.0
Altura del lecho de soporte, incluye drenaje (m)	0.1 - 0.3

La velocidad de filtración varía entre los 0.1 y 0.2 m/h dependiendo de la calidad del agua cruda. A mayor contaminación del agua afluente menor velocidad de filtración.

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

**c) Sistema de drenaje, que incluye lecho de soporte y cámara de salida:**

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.

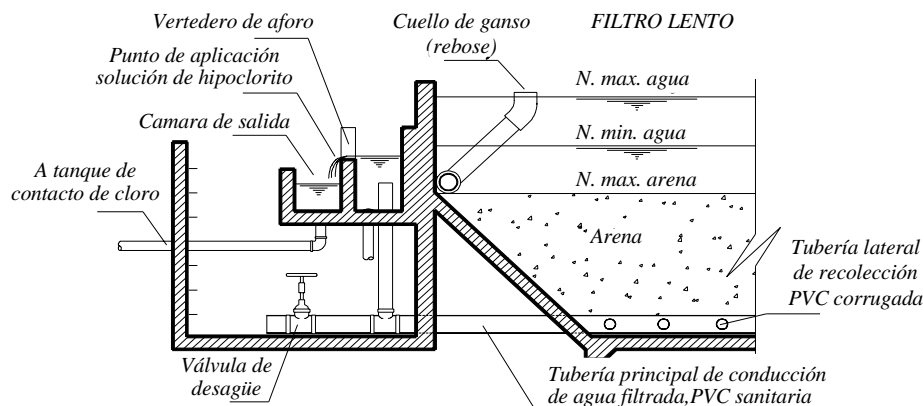


Figura 8. Estructura de salida de un FLA.

**d) Capa de agua sobrenadante:**

Se recomienda una altura de agua sobrenadante de 1.0 a 1.5 m. y un borde libre entre los 0.2 y 0.3 m.

**e) Conjunto de dispositivos para regulación, control y rebose de flujo:**

- Válvula para controlar entrada de agua pretratada y regular velocidad de filtración

- Dispositivo para drenar capa de agua sobrenadante, “cuello de ganso”.
- Conexión para llenar lecho filtrante con agua limpia
- Válvula para drenar lecho filtrante
- Válvula para desechar agua tratada
- Válvula para suministrar agua tratada al depósito de agua limpia
- Vertedero de entrada
- Indicador calibrado de flujo
- Vertedero de salida
- Vertedero de excesos

### Dimensionamiento

a) **Caudal de diseño (Qd):** Se expresa en (m<sup>3</sup>/h)

b) **Numero de unidades (N):** Mínimo dos unidades de filtración

c) **Área superficial (As):**

$$\text{Área superficial (As)} = \frac{Qd}{N \times Vf}$$

Donde:  $As = m^2$   
 $Vf =$  velocidad de filtración (m/h)  
 $Qd =$  caudal de diseño (m<sup>3</sup>/h)  
 $N =$  número de unidades

b) **Coefficiente de mínimo costo (K):**

$$K = (2 \cdot N) / (N + 1)$$

c) **Longitud de unidad:**

$$L = (As \cdot K)^{1/2}$$

d) **Ancho de unidad:**

$$b = (As / K)^{1/2}$$

e) **Velocidad de filtración real (VR):**

$$VR = Qd / (2 \cdot A \cdot B)$$

f) **Sistema de drenaje:**

Los drenes se diseñarán 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:  $V_p/V_s \leq 0.15$ , para obtener una colección uniforme del agua filtrada.

**g) Pérdidas de carga:**

Se producen pérdidas de carga en las tuberías, en las válvulas, lecho filtrante, drenes y vertederos.

- Lecho filtrante: Esta en función de la granulometría del material, velocidad de filtración.
- Drenes: (menor a 10%)

$$h_d = 0.33 \frac{1}{d_h} \cdot V^2 / 2g$$

Donde,  $d_h$  : diámetro hidráulico  
 $V$  : velocidad del dren, ( $d_h = 4A_d/P$ )  
 $A_d$  : área del dren  
 $P$  : perímetro del dren

- Compuerta de entrada:

$$h_{f1} = K \frac{V^2}{2g} \quad ; \quad V = V_F A_f / A_C$$

Donde,  $A_C$  : área de la compuerta ( $m^2$ )  
 $A_f$  : área de filtración ( $m^2$ )  
 $V_F$  : velocidad de filtración ( $m/s$ )

- Vertedero de salida:

$$h_{f2} = Q_d^2 / 3 / 1,84 L_v$$

Donde,  
 $L_v$  = longitud de cresta del vertedero general (m)  
 $Q_d$  = caudal de diseño ( $m^3/h$ )

## 11. Bibliografía

Martin Wegelin, Gerardo Galvis, Jorge Latorre; “La filtración gruesa en el tratamiento de agua de fuentes superficiales”; SANDEC, CINARA; Colombia; 1997.

Gerardo Galvis Castaño, Jorge Latorre Montero, Jan Teun Visscher; “Filtración en múltiples etapas”; CINARA, IRC; Colombia; 1999.

CEPIS, Cánepa de Vargas Lidia; “Programa regional para la promoción del uso de tecnologías apropiadas en saneamiento básico”; CEPIS; Lima; 2000.

CEPIS; “Programa regional de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano”- Plantas modulares para tratamiento de agua; Segunda edición; Lima; 1990.

CEPIS, Ing. Lidia Cánepa de Vargas; “Programa regional de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano”, Tratamiento - Filtración lenta, Manual: I, II, III; CEPIS; Lima; 1992.

OPS / CEPIS, Solsona, Felipe; “Filtración dinámica”; Lima, 2003.

PROSAB, Luiz Di Bernardo, Cristina Célia Silveira Brandão, Léo Séller; “Tratamiento de aguas de abastecimiento por filtração em múltiplas etapas”; Primera edición; Rio de Janeiro; 1999.

Silena Vargas O., Maria Mercedes Hincapie G., Jorge Latorre M., Gerardo Galvis C., Javier Fernandez M.; “Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento por filtración en múltiples etapas”; CINARA; Colombia; 1999.

Roque A. Román Seda, María I. Ortiz Soto, Javier Cardona, Ismael Pagán Trinidad; “Caracterización de un filtro lento de arena con un prefiltro de flujo horizontal de grava”

## Anexo 1

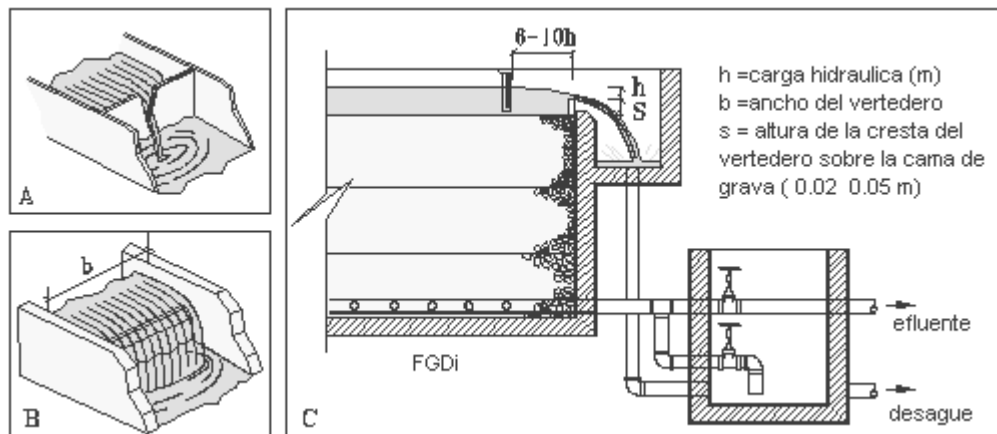
### Vertederos de control

Hay dos condiciones básicas para el correcto diseño de vertederos. En primer lugar, el vertedero debe instalarse en el canal de acceso en forma tal que la velocidad de aproximación sea cercana a cero; en segundo lugar, la altura de agua  $H$  que se correlaciona con el caudal a medir, no corresponde a la lámina de agua que cruza exactamente sobre la sección del vertedero sino a la diferencia de alturas entre la cresta ó vértice del vertedero y el nivel de la superficie del agua, medida a cierta distancia, entre 6 y 10  $H$  aguas arriba de dicho punto.

- Vertedero rectangular sin contracciones:  $Q = 1.848 * B * h^{1.5}$
- Vertedero rectangular con contracciones:  $Q = 1.848 * (B - 0.1 * n * h) * h^{1.5}$
- Vertedero triangular de 90°:  $Q = 1.434 * h^{2.5}$

Donde,  $Q$  = Caudal (m<sup>3</sup>/s)  
 $B$  = ancho del Vertedero (m)  
 $h$  = carga de agua en el vertedero (m)  
 $n$  = número de contracciones

Para cálculos mas exactos es mejor determinar experimentalmente el valor del coeficiente numérico de las formulas o la curva de descarga del vertedero.



Vertedero triangular (A) y vertedero rectangular (B)

### Reglas de aforo

Para facilitar el trabajo de un dispositivo fundamentado en la utilización de reglas con señales de colores (verde, amarillo y rojo) que permiten de manera visual, registrar variaciones de caudal y por consiguiente, de velocidad de filtración de las unidades. Cuando el nivel de agua en la zona de medición alcanza el color verde, se indica la condición de diseño de la planta; el color amarillo pintado por encima del verde, indica la zona de sobrecarga admisible

(generalmente hasta el 50% del caudal de diseño), el amarillo por debajo, representa la zona en la cual se aconseja operar el filtro en los momentos de picos afluentes de turbiedad; la zona roja tanto superior como inferior al color amarillo, indica al operador, velocidades extremas tanto altas como bajas.

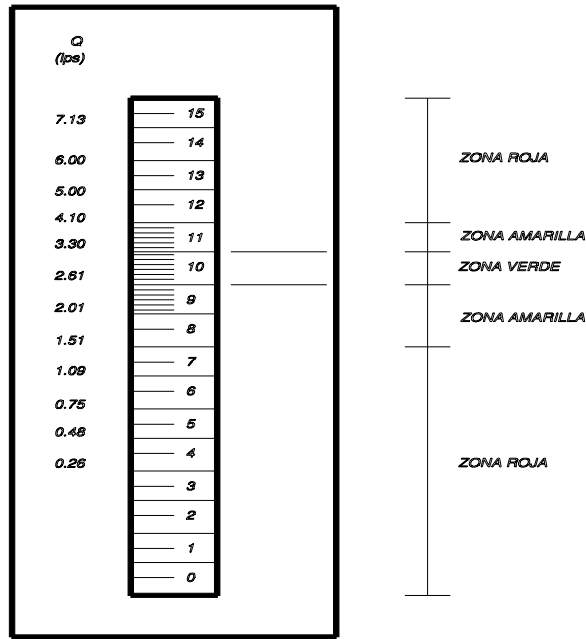


Figura A-1. Regla de aforo.



## Anexo 2

### Sistema de tratamiento de filtración en múltiples etapas

#### Ejemplo de diseño

##### 1. Calidad de agua cruda

La fuente de abastecimiento seleccionada para este ejemplo corresponde a una fuente superficial típica para zonas montañosas. Su cuenca presenta intervención humana, con vertimientos de aguas residuales domésticas provenientes de pequeños asentamientos humanos de sitios campestres y de recreación localizados aguas arriba del sitio de captación. En la cuenca también se presentan algunas zonas deforestadas con erosión moderada.

La calidad del agua en la fuente es presentada en la tabla 1 y corresponde al resultado de un año de monitoreo con frecuencia de una vez cada dos semanas. La información suministrada por la comunidad indica que durante el período de lluvia, ocurren cambios rápidos en la calidad del agua, básicamente asociados con el contenido de sólidos suspendidos, con una duración generalmente inferior a 5 horas.

**Tabla 1.** Calidad de agua en la fuente superficial.

Parámetro	Promedio ; DST	Rango (mínimo; máximo)	Frecuencia < 95%
Turbiedad (UNT)	15.0 ; 18.0	0.5 ; 102	50
Color Real (UPC)	19.0 ; 15.0	4.0 ; 100	51
Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	5896 ; 11189	240 ; 69500	11000

##### 2. Selección del sistema de tratamiento

Para los niveles de contaminación presentados en la tabla 1 y con base en los criterios de Selección de Tecnología FiME, la combinación de FGD<sub>i</sub> + FGAC + FLA, es la solución de tratamiento propuesta.

Durante los cambios bruscos de calidad en la fuente, el filtro grueso dinámico se orienta a la protección del sistema de tratamiento contra altas concentraciones de sólidos suspendidos, removiendo material particulado principalmente. Durante períodos de estiaje e invierno también contribuye en la remoción de otros elementos como turbiedad, coliformes fecales, hierro y manganeso en menor proporción. El filtro grueso ascendente en capas se orienta a la reducción tanto del contenido de sólidos finos como de la contaminación bacteriológica y algunos compuestos de naturaleza química.

### 3. Parámetros de diseño y dimensionamiento del sistema

En la tabla 2 se resumen los parámetros de diseño utilizados así como las dimensiones de las unidades y características de lecho filtrante. La figura 1 presenta la planta general del sistema de tratamiento y las figuras 2, 3 y 4 detalles del FGD<sub>i</sub>, FGAC y FLA.

**Tabla 2.** Parámetros de diseño y dimensiones de una planta FiME que trata agua.

Item	FGDi	FGAC	FLA
<b>Características Generales</b>			
Velocidad de filtración (m/h)	2.0	0.6	0.15
Caudal (l/s)	2.0	2.0	2.0
Area superficial (m <sup>2</sup> )	3.6	12	48
Número de unidades en paralelo	2	2	2
<b>Dimensiones por unidad</b>			
Largo (m)	2.70	2.85	5.7
Ancho (m)	3.60	2.10	4.2
Altura total (m)	0.70	1.20	1.80
<b>Lecho filtrante</b>			
Material	Grava	Grava	Arena
Longitud total (m). Incluye lecho de soporte.	0.6	1.00	1.05
Diámetro (mm)	6.0-25.0	3.0-25.0	Cu = 3.0 d <sub>10</sub> = 0.20

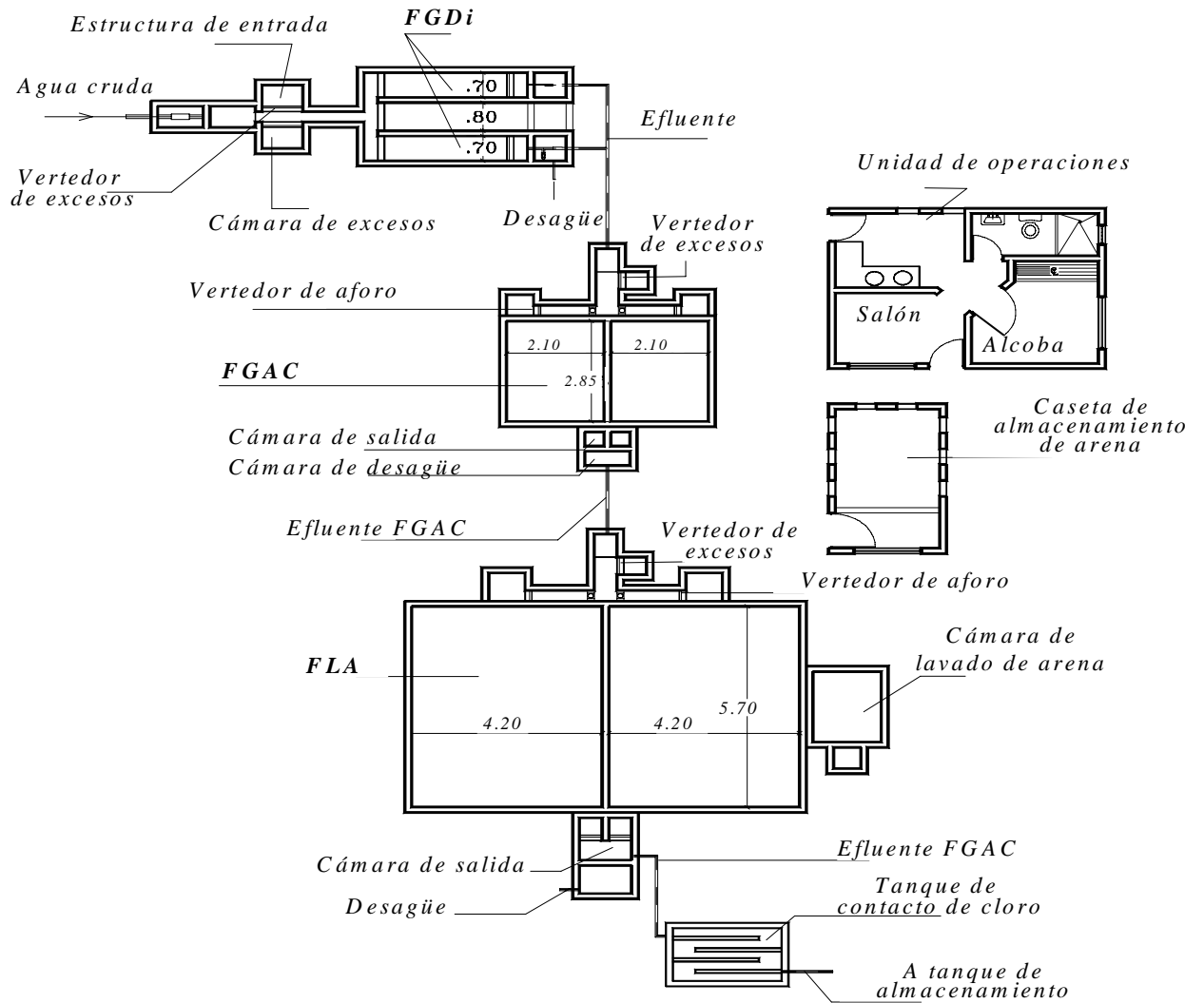
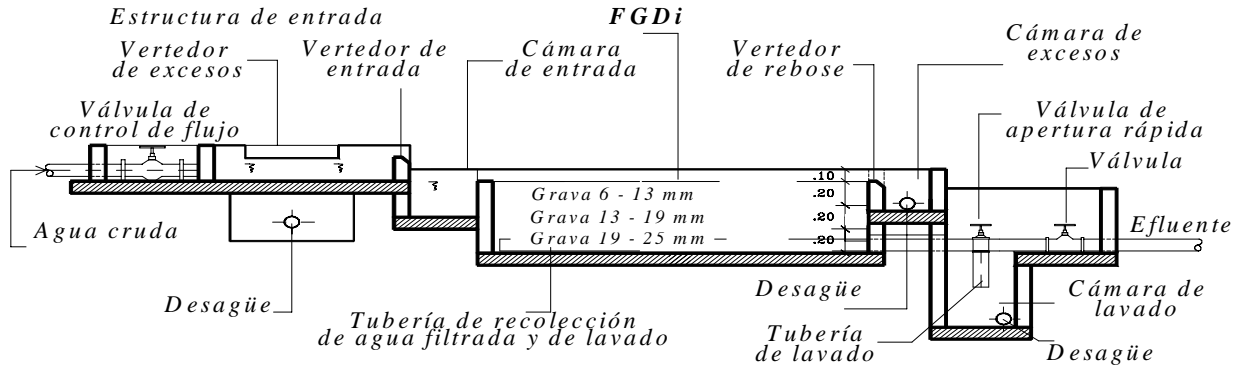
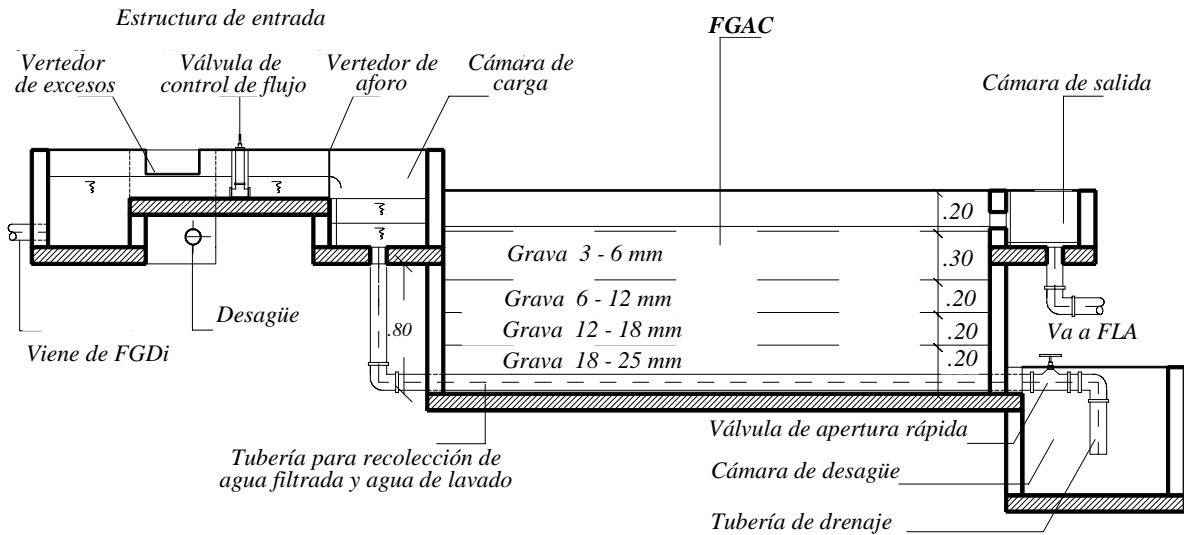


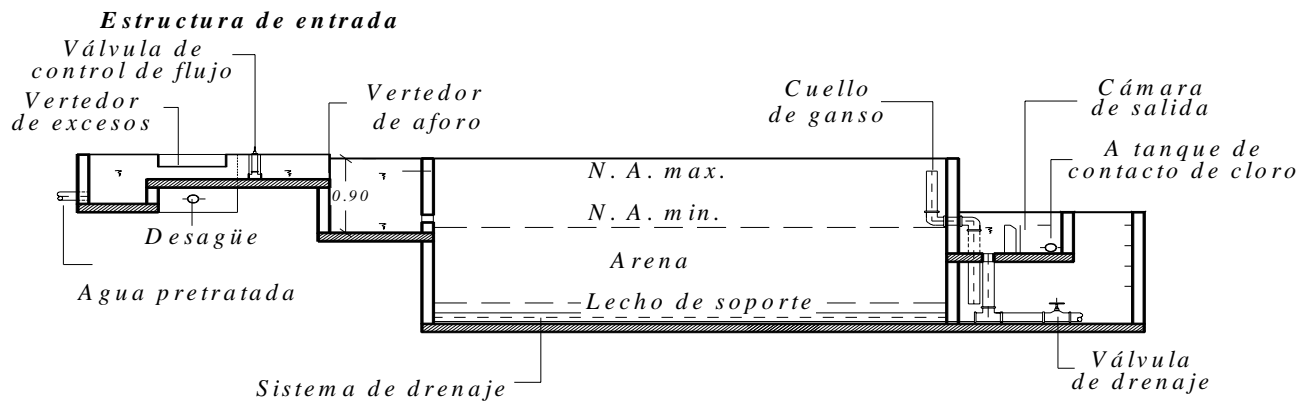
Figura 1. Planta general del sistema FiME para tratar agua de fuentes superficiales.



**Figura 2.** Corte longitudinal del Filtro Grueso Dinámico.



**Figura 3.** Corte longitudinal de un Filtro Grueso Ascendente en Capas.



**Figura 4.** Corte longitudinal de un filtro lento en arena.