

Manual de operación y mantenimiento para dos trenes de tratamiento de agua lluvia a escala de laboratorio

Universidad Industrial de
Santander
Bucaramanga-Colombia
2022

Grupo de Investigación en Recursos Hídricos y
Saneamiento Ambiental



Tabla de contenido

1. Introducción.....	3
2. Descripción de los trenes de tratamiento.	3
2.1. Sedimentación.....	4
2.2. Filtración lenta de arena.	4
2.3. Filtración por membrana.....	5
3. Montaje de los prototipos.....	8
3.1. Sedimentador	8
3.2. Filtro lento de arena (FLA).....	9
3.3. Membrana de ultrafiltración (MUF)	11
4. Operación y mantenimiento de los trenes de tratamiento	13
4.1. Parámetros hidráulicos generales.....	13
4.2. Parámetros hidráulicos de operación	16
4.3. Mantenimiento.....	16
5. Referencias	17

1. Introducción

Este manual hace parte de la investigación realizada por León y Muñoz (2022) en dónde se trabajó con los trenes de tratamiento propuestos por García y Rivera (2020) y descritos en este documento, cuyo propósito es el tratamiento de agua lluvia recolectada en el sistema de aprovechamiento del edificio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E3T) de la Universidad Industrial de Santander (UIS). El objetivo principal de la presente guía es proporcionar la información necesaria para entender el componente físico, el funcionamiento y el mantenimiento de dos trenes de tratamiento a escala de laboratorio y así facilitar el uso de estos en futuras investigaciones.

2. Descripción de los trenes de tratamiento.

Los prototipos de los trenes de tratamiento cuentan con tres etapas: sedimentación, filtración y desinfección. En la Figura 1 se puede observar un diagrama de flujo con cada una de estas etapas.

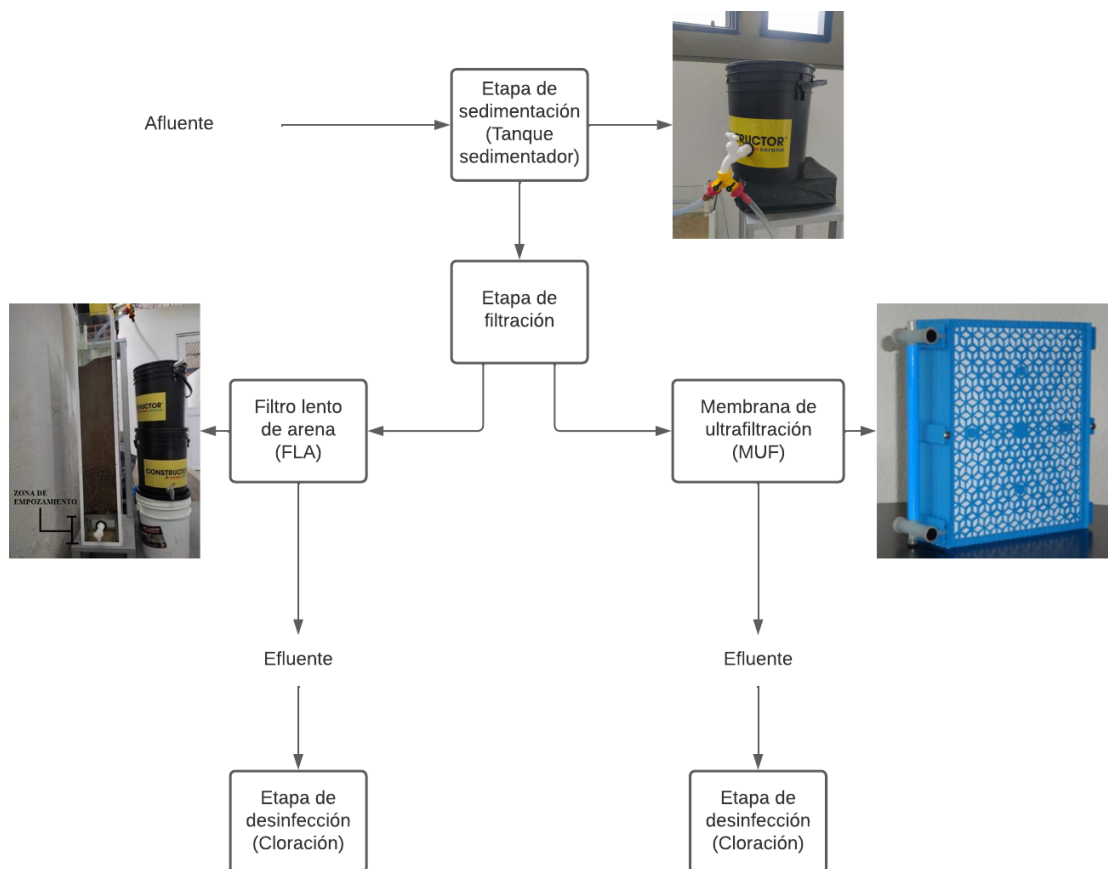


Figura 1: Etapas de tratamiento de los dos trenes.

Es importante conocer las características de cada una de las etapas del tratamiento para dimensionar la importancia de estas en el proceso de mejorar la calidad del agua tratada. A continuación, se hace una descripción de las tecnologías empleadas en cada etapa. La etapa de desinfección no se consideró para efectos del presente manual.

2.1. Sedimentación. Es una tecnología que está diseñada para eliminar sólidos suspendidos por sedimentación. La baja velocidad del flujo en un sedimentador permite que las partículas sedimentables se hundan, mientras los componentes que pesan menos que el agua flotan hacia la superficie. Diferentes tecnologías de tratamiento requieren sedimentación previa para funcionar de manera adecuada, por lo que esta tecnología es muy común, tanto en zonas rurales como en zona urbanas (Tilley et al., 2018).

2.2. Filtración lenta de arena. Es el sistema de tratamiento de agua más antiguo utilizado por la humanidad. Es relativamente sencillo y efectivo porque se basa en el proceso de purificación que se da en la naturaleza al atravesar el agua lluvia a través de los estratos de la corteza terrestre hasta encontrar los acuíferos (Lidia & Vargas, 2010). Los filtros lentos de arena (FLA) son habitualmente depósitos que contienen capas de arena graduada hasta una profundidad de 0.5 a 1.5 m, con la fracción más gruesa en la parte inferior y el nivel más fino en la parte superior (con partículas de tamaño efectivo de 0.15 a 0.3 mm) (Gómez & Silva, 2019).

Esta técnica de filtración es un tratamiento de bajo costo y fácil implementación, en donde el tratamiento se logra mediante un ecosistema controlado de microorganismos y filtración a través de la arena. La calidad del efluente está influenciada principalmente por el flujo del agua, la profundidad de la columna de arena y la granulometría del material utilizado (Huisman & Wood, 1974).

Uno de los aspectos más significativos a considerar sobre los FLA es la capa biológica que se forma en la superficie del lecho filtrante, debido a su importancia, se han realizado investigaciones sobre su formación y las condiciones bajo las cuales debe permanecer para garantizar la eficiencia del filtro. Al respecto, Lea (2014) concluyó que el tiempo de maduración de esta capa es de aproximadamente 30 días, asimismo recomienda que el agua cruda debe ser suministrada de forma continua con un régimen constante con periodos de pausa de mínimo 1 hora y máximo 48 horas, la temperatura debe ser ideal (i.e. 20 °C) para la formación de los microorganismos y además es preciso asegurar que reciba el oxígeno necesario para los procesos metabólicos. En la Figura 2 se puede observar cómo está constituido un FLA pequeño que puede ser utilizado en procesos domiciliarios; los filtros empleados en plantas de tratamiento centralizadas son más complejos y de mayor tamaño.

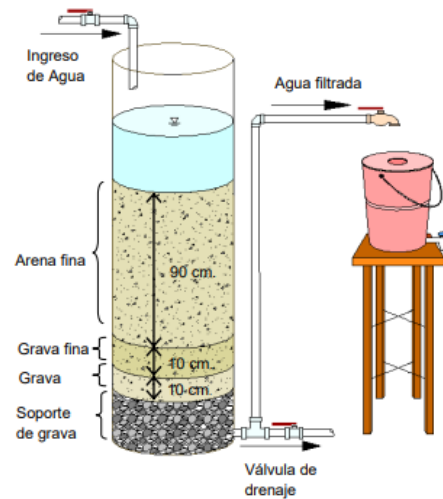


Figura 2. Ejemplo de un FLA a nivel domiciliario (Universidad Mayor de San Simon, 2008).

2.3. Filtración por membrana. Este proceso puede definirse como la separación de materiales de un fluido pasando la mezcla a través de un medio poroso. Las membranas son películas delgadas de materiales sintéticos orgánicos o inorgánicos, que pueden producir una separación selectiva entre un fluido y sus componentes (Du et al., 2019).

Entre las ventajas del uso de la tecnología de membrana se destaca que es un proceso que requiere de poco espacio, opera grandes flujos a baja presión (solo los modelos más recientes) y generalmente no requiere de tratamiento químico (Katrivesis et al., 2021). Entre sus inconvenientes está la difusión de moléculas cerca de la superficie de la membrana, creando una barrera que reduce el paso de fluido a través de la membrana y la eficiencia del tratamiento; fenómeno conocido como ensuciamiento de la membrana (membrane fouling). El tratamiento con flujo tangencial ayuda a prevenir este inconveniente, sin embargo se recomienda limpieza periódica de la membrana para alargar su vida útil y mantener la efectividad del proceso (Choi et al., 2005).

Richards et al (2021) mencionan en su investigación que uno de los mecanismos más utilizados en el retrolavado de la membrana para eliminar la materia inorgánica se realiza invirtiendo el funcionamiento de la membrana, es decir, se toma el agua ya filtrada o potable en su defecto, y se impulsa una corriente con flujo elevado en sentido inverso de la filtración con el fin de retirar la capa de sólidos acumulada en las películas de la MUF. Mientras que el lavado de la materia orgánica se debe realizar con productos químicos como el hipoclorito o detergentes especializados para el lavado de las membranas (Busnadiego, 2013). La frecuencia del retrolavado se debe determinar mediante la medición de los

parámetros de operación de la membrana, como la presión transmembrana y tasa de flujo, esto debido a que varía en base a las condiciones con las que esta opera (Brover et al., 2022).

Con el objetivo de facilitar el montaje de los prototipos a escala de laboratorio, a continuación, en la Figura 3 se muestra el ensamble finalizado de los dos trenes de tratamiento y en la Tabla 1 sus partes principales.

Adicionalmente, las figuras 4 y 5 se detallan otras partes más específicas de cada tecnología de tratamiento.



Figura 3: Partes de los trenes de tratamiento.

Tabla 1: Convenciones Figura 3

ID.	Descripción
1	Tanque sedimentador
2	Manguera de conexión entre el sedimentador y el filtro
3	Filtro lento en arena
4	Recipiente de captación para el efluente del filtro.
5	Manguera de desagüe
6	Manguera de conexión entre el sedimentador y el recipiente de instalación
7	Recipiente de instalación para el módulo de la membrana
8	Recipiente de captación para el efluente de la membrana

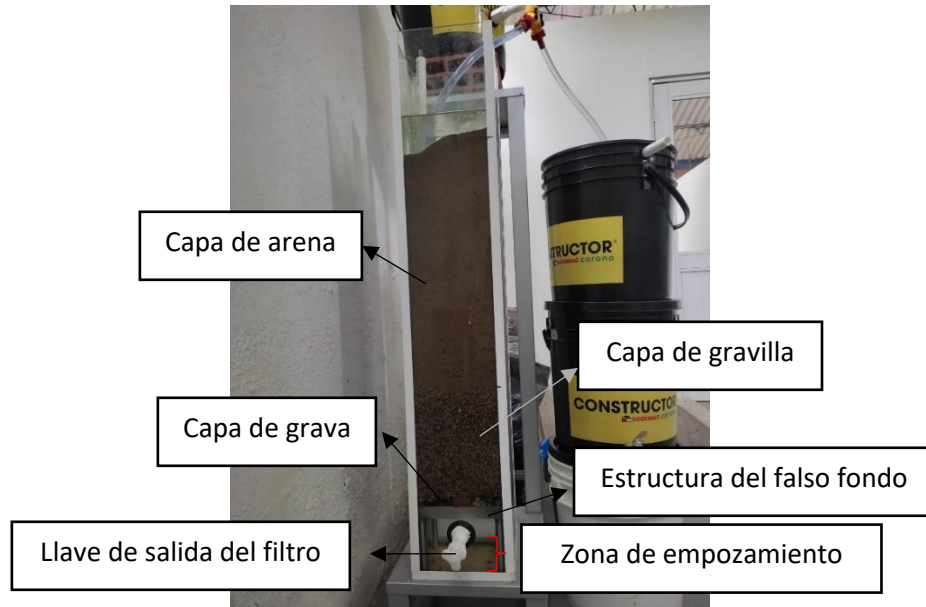


Figura 4: Partes del FLA.



Figura 5: Partes del recipiente de instalación de la membrana.

Adicionalmente existen otros elementos hidráulicos que son necesarios para ensamblar cada etapa y garantizar el correcto funcionamiento de los trenes de tratamiento. Por ejemplo: los empaques, los cuales son pequeñas piezas de hule o plástico que sirven para sellar uniones y/o evitar fugas y goteos, estos se ubican estratégicamente en cada una de las llaves de los prototipos. Otro elemento importante que se emplea en instalaciones hidráulicas como esta es la cinta teflón, la cual se coloca

en las llaves para asegurar que las conexiones de estas queden totalmente selladas. Por último, los acoples plásticos para manguera también son utilizados en esta instalación, esto con el fin de unir y transportar el efluente del tanque sedimentador hacia cada tecnología de filtración. En la Figura 6 se pueden observar ejemplos de los elementos hidráulicos mencionados anteriormente.



Figura 6: Elementos hidráulicos usados: empaques, cinta teflón y acoples para manguera.

3. Montaje de los prototipos

Las especificaciones de cada etapa y de cada una de las tecnologías de tratamiento empleadas en la etapa de filtración se describen detalladamente a continuación:

3.1. Sedimentador

Para la etapa de sedimentación se utiliza un recipiente cilíndrico plástico de 18 L de volumen (Figura 7) que funciona como tanque sedimentador en el cual se espera sean removidas las partículas o sólidos suspendidos de mayor tamaño. Este tanque es compartido entre ambos trenes de tratamiento y su efluente fluye a cada uno de ellos mediante una conexión tipo “Y” de ½ pulgada de PVC.



Figura 7: Tanque sedimentador.

3.2. Filtro lento de arena (FLA)

El contenedor (Figura 8) está constituido por cuatro placas de vidrio de 17.8x120x0.6 cm que forman las paredes y por una placa de 17.8x17.8x0.6 cm para la base. Todas estas placas están sujetas con un sellante para vidrios, además, estas uniones están reforzadas mediante perfiles platinados de $\frac{3}{4}$ de pulgada para generar un mejor agarre y evitar fugas de agua o material del filtro. En la cara frontal del contenedor se encuentra la llave de salida del flujo ya tratado, esta tiene un diámetro de $\frac{1}{2}$ de pulgada y está ubicada a 9 cm de altura de la base.

Debido a la altura a la que está instalada la llave de salida se requiere implementar un falso fondo con el fin de garantizar la retención del material granular y así evitar al máximo la pérdida de este. El material del cual está construido este falso fondo es acero 304 (alimentos) ya que es necesaria una buena resistencia tanto para soportar la carga del lecho filtrante como para resistir el ahogamiento puesto que este se debe mantener siempre sumergido. Las dimensiones de esta estructura son 17.5x17.5 cm de base (perfil de 1 pulgada) y 11 cm de altura (tubo metálico hueco de $\frac{3}{4}$ de pulgada), además cuenta con una malla metálica anti oxidable de 2 mm de diámetro (Figura 9).



Figura 8: Contenedor en vidrio para el filtro lento de arena.



Figura 9: Estructura en acero para el falso fondo.

Para evitar el detrimento de la calidad del efluente por el volumen de agua retenido bajo el falso fondo, se planteó un sistema de drenaje aprovechando la estructura hueca de este. Este sistema básicamente consta de una manguera delgada y flexible que se encuentra fuera del contenedor, a lo largo del lecho filtrante y dentro de uno de los tubos metálicos del falso fondo. Esta manguera,

mediante el principio de sifón, permite el vaciado ocasional de la zona de empozamiento cuando se necesite hacer una limpieza o mantenimiento del filtro.

Los tamaños de las partículas del material granular usado se muestran en la Tabla 2. Este material se obtuvo mediante el tamizaje y fue sometido a un lavado con el fin de eliminar partículas extrañas contenidas en él (i. e. polvo, arcillas, residuos orgánicos, etc.). Posteriormente fueron almacenados y preparados para su posterior uso.

Tabla 2. *Granulometría usada para el lecho de filtrado.*

Capa de material	Diámetro de las partículas (mm)
Arena	0.15 – 0.30
Gravilla	1.6 – 2.1
Grava	9.52 – 25.4

El ensamblaje del FLA se hizo uniendo las partes y los materiales antes mencionados. Inicialmente se colocó la estructura del falso fondo en el contenedor de vidrio y se insertó la manguera que sería usada para vaciar el empozamiento; esta manguera, al ser tan delgada y de material flexible, tendía a aplastarse por lo que fue necesario instalar un tubo de PVC de ½ de pulgada que sirviera como “armadura” para ella. Después, con ayuda de una pala pequeña, se fue agregando el material por capas como lo muestra la Tabla 3, dando pequeños golpes sobre el material para evitar vacíos grandes dentro del lecho del filtrado.

Tabla 3. *Espesores de las capas que forman el lecho filtrante.*

Capa de material	Espesor de la capa (cm)
Arena	47
Gravilla	24
Grava	4

Para generar la capa de microorganismos encargados de eliminar los patógenos del agua a tratar fue necesario llenar el filtro con agua de la red domiciliaria 5 cm por encima de la última capa del lecho filtrante, se dejó madurar durante 30 días. En la Figura 10 se puede observar el FLA ya construido.



Figura 10: Filtro lento en arena a escala de laboratorio.

3.3. Membrana de ultrafiltración (MUF)

La tecnología de tratamiento usada para el proceso de filtración en el segundo tren de tratamiento es un “mini filtro CUBE®” de la empresa Martin-Systems de dimensiones 250x75x260 mm (Figura 11). Este se basa en un sistema de membranas de ultrafiltración sumergibles, las cuales tienen poros con un tamaño nominal de 35 nm creando una barrera física contra patógenos como helmintos, protozoos, bacterias y algunos virus (Martin Systems, 2005). Para dar uso a la membrana se deben realizar dos procesos previos, la instalación y la activación.



Figura 11: Mini filtro CUBE®

La instalación se realizó en dos baldes de 18 L de capacidad situados uno encima del otro, el primero, colocado en la parte superior para ubicar el módulo (Figura 12) y el otro debajo para recolectar el agua filtrada (Figura 13). Inicialmente se le hizo una abertura de 8mm en la parte inferior del primer balde para insertar el tubo en el que se conecta la membrana y por el cual sale el agua filtrada, a este también se le insertó un tubo de PVC en la parte superior con el fin de drenar el agua que llegaba a la parte más alta, controlando así el volumen del agua en el interior del recipiente. Al segundo balde se le insertó una llave de paso de aluminio con diámetro de ½ pulgada en la parte baja para recolectar las muestras de agua filtrada y se abrió un agujero de 8mm en la tapa del balde por el cual entra el agua proveniente de la membrana.



Figura 12: Recipiente de instalación del módulo de la membrana.



Figura 13: Recipiente de captación para el afluente de la membrana.

El proceso de activación se realiza con el objetivo limpiar la membrana y eliminar posibles contaminantes patógenos contenidos en ella y además garantizar el flujo completo a través de la membrana y para conseguirlo se debe sumergir el módulo en una solución de hipoclorito de sodio (NaOCl) de 500 ppm, a 20°C durante 3 horas, en el balde donde se instala. Para tal fin se empleó una solución de cloro doméstico, el cual tenía una concentración de 5.25% de NaOCl, lo que implica que la concentración inicial de NaOCl es de 52,500 ppm (C1). Para disminuir la concentración a 500 ppm (C2) se diluyó con agua en un balde de 18 L (V2) de capacidad. Para encontrar la cantidad de cloro que se debía añadir (V1) se utilizó la relación: $V1 \times C1 = V2 \times C2$, de donde se obtuvo $V1 = 0.17$ L.

Seguidamente se llenó el balde de filtración con la solución preparada, se extrajo el aire que contenía la membrana conectando la manguera dispuesta para ello y sumergiendo el módulo dentro de la solución. Una vez extraído el aire se colocó el tapón y se aseguró que la membrana estuvo en contacto con la solución por 3 horas a 20°C. Se tuvo en cuenta que, debido a que el módulo ya estaba instalado, la solución de cloro era filtrada por la membrana y drenaba al balde inferior a una tasa de aproximadamente 3 L/h. Por lo tanto, fue necesario ir alimentando manualmente el balde superior con la solución de NaOCl para garantizar el tiempo de contacto necesario. Desde que se activó la membrana con la solución, esta se dejó sumergida en agua potable todo el tiempo hasta su posterior uso, siguiendo las recomendaciones del fabricante.

Teniendo la descripción constructiva del FLA y de instalación y activación de la MUF el paso a seguir es el ensamblaje de los prototipos. Para esto se recomienda hacer un pequeño inventario de las partes descritas en la Tabla 1, comprobar su estado y, de ser necesario, cambiar o reparar las piezas que lo requieran. A continuación, se describen en forma de lista cada actividad necesaria para armar los prototipos.

1. Separar las piezas dependiendo del prototipo al que pertenecen.
2. Lavar y/o limpiar cada elemento.
3. Ubicar el tanque sedimentador en la parte superior de la estructura metálica donde se encuentra el FLA.
4. Instalar la conexión hidráulica tipo “Y” en la llave de salida del tanque sedimentador y asegurar cada una de las conducciones hacía los sistemas de filtración.
5. Colocar el recipiente blanco paralelo al FLA y sobre el apilar los recipientes captación e instalación de la MUF respectivamente, asegurando que la conexión de la membrana del tanque de instalación encaje en la tapa del recipiente de captación.
6. Instalar el módulo de la membrana en el tanque dispuesto para tal fin, asegurándose que la conexión sea precisa.
7. Finalmente, ubicar el recipiente azul bajo la llave de salida del FLA

4. Operación y mantenimiento de los trenes de tratamiento

Con el fin de conocer y definir las condiciones de operación para cada tren se realizaron varias pruebas de flujo donde se variaron condiciones relacionadas con el caudal de su afluente y su efluente.

4.1. Parámetros hidráulicos generales

A continuación, se presentan los parámetros hidráulicos de cada tren de tratamiento. Un parámetro importante para el manejo de cada sistema es el control del flujo, para esto en la Tabla 4 se muestran los posibles niveles de apertura de la llave de salida del tanque sedimentador e incluye una imagen que representa la posición en la cual debe quedar la apertura. Otro parámetro de suma importancia es el volumen necesario por los trenes de tratamiento para funcionar durante una corrida, este es de 43 litros para ambos sistemas.

Tabla 4. Rangos de apertura de llave del tanque sedimentador.

Nivel de apertura	Fracción de vuelta	Posición de la llave
Llave totalmente abierta	3/4 (270°)	
Llave semiabierta	1/2 (180°)	
Llave parcialmente abierta	1/4 (90°)	
Llave cerrada	0°	

En la tabla 5 y 6 se muestran los caudales de entrada ofrecidos por cada nivel de apertura de la tabla 4. Es necesario mencionar que estos caudales se presentan en dos tablas ya que para calcularlos se considera la carga hidráulica presente en el tanque sedimentador, es decir, el caudal que entrega el tanque varía si se encuentra totalmente lleno o en su nivel mínimo.

Tabla 5. *Caudales de entrada con tanque sedimentador lleno.*

Nivel de apertura	Caudal [L/h]
Llave totalmente abierta	86.4
Llave semiabierta	46.8
Llave parcialmente abierta	10.8

Tabla 6. *Caudales de entrada con tanque sedimentador al mínimo.*

Nivel de apertura	Caudal [L/h]
Llave totalmente abierta	57.6
Llave semiabierta	38.4
Llave parcialmente abierta	4.43

Además de los caudales presentados anteriormente, se estudiaron características hidráulicas para cada tecnología de filtración; para el FLA se presentan en las tablas 7 y 8, mientras que los de la MUF se observan en la Tabla 9.

Tabla 7. *Tiempos de operación del FLA.*

Parámetro analizado	Tiempo [min]
Llenado del filtro	47
Vaciado del filtro sin la zona de empozamiento	13
Vaciado de la zona de empozamiento	4
Tiempo de retención hidráulica	15

Tabla 8. *Caudales de operación del FLA.*

Parámetro analizado	Caudal [L/h]
Caudal mínimo del efluente	12.6
Caudal máximo del efluente	75.8
Caudal promedio del efluente	37

Tabla 9. *Caudales de filtración de la MUF.*

Parámetro analizado	Caudal [L/h]
Caudal mínimo del efluente	1.07
Caudal máximo del efluente	7.64
Caudal promedio del efluente	5.54

4.2. Parámetros hidráulicos de operación

Observando los resultados obtenidos en cuanto a la tasa de filtración de cada tecnología, se recomienda:

1. Alimentar cada sistema de manera individual con el efluente proporcionado por el tanque sedimentador lleno y la llave de este parcialmente abierta, es decir, un caudal de 10.8 L/h. En estudios similares se evidencia cómo los caudales de entrada deben ser regulados y disminuidos al punto de un flujo laminar con el fin de evitar la resuspensión de partículas. Adicionalmente, para evitar este inconveniente, se recomienda instalar algún mecanismo que reciba y distribuya el flujo de entrada al FLA de manera controlada (i.e. placa de vidrio, plástico o metálica).
2. El FLA debe estar siempre lleno a un nivel de 5 cm sobre la superficie de la arena para garantizar la supervivencia de la capa biológica.
3. El caudal de salida del FLA se debe garantizar similar al proporcionado por el afluente. Para esto se recomienda trabajar con la llave de salida abierta al mínimo (ver Figura 14).
4. Mantener la membrana totalmente sumergida para obtener el caudal máximo.
5. Regular el caudal del afluente de ambos prototipos ocasionalmente con el fin de mantener las condiciones descritas en los numerales anteriores.



Figura 14: Llave de salida del FLA abierta al mínimo.

4.3. Mantenimiento.

- Con el fin de garantizar la mayor eficiencia en la remoción del nivel de turbiedad del afluente se recomienda lavar el FLA cada dos corridas, este lavado se hace pasando agua potable (red domiciliaria) a través de él e ir midiendo hasta que la turbiedad en el efluente sea igual o similar a la del afluente. Cada vez que se realice el lavado se debe garantizar flujo continuo durante al menos 45 minutos antes de tomar la primera muestra con el fin de estabilizar el comportamiento del FLA. Se recomienda recircular el agua usada durante este proceso para evitar el desperdicio del recurso hídrico.
- Para vaciar la zona de empozamiento del FLA es necesario primero vaciar el lecho filtrante

hasta el nivel de la llave de salida, después se debe succionar mediante la manguera dispuesta para ese fin, cuando el agua esté llegando al orificio de salida, obstruir con el pulgar el paso del flujo, bajar la manguera al nivel del piso y dejar fluir nuevamente. El agua empezará a salir mediante el efecto sifón. Se recomienda hacer este proceso cada vez que se haga el lavado del filtro.

- Mientras la MUF no se use, se debe mantener todo el tiempo sumergida y cubierta para evitar la contaminación por agentes externos; el agua donde se sumerge se debe cambiar cada mes. La frecuencia del retrolavado de la membrana se debe definir en base al rendimiento de esta, es decir, se debe realizar cada vez que disminuya la eficiencia en la remoción de partículas. Si el retrolavado no resulta efectivo se debe realizar un lavado químico, el cual es un proceso similar a la activación de la MUF.

5. Referencias

- Brover, S., Lester, Y., Brenner, A., & Sahar-Hadar, E. (2022). Optimization of ultrafiltration as pre-treatment for seawater RO desalination. *Desalination*, 524(December 2021).
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115478>
- Busnadiego, F. (2013). *Estudio del funcionamiento de sistemas de ultrafiltración con membranas en ETAP y EDAR*. Tesis de Maestría. Universidad de Valladolid.
- Choi, H., Zhang, K., Dionysiou, D. D., Oerther, D. B., & Sorial, G. A. (2005). *Influence of cross-flow velocity on membrane performance during filtration of biological suspension*. 248, 189–199.
<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2004.08.027>
- Du, X., Xu, J., Mo, Z., Luo, Y., Su, J., Nie, J., & Wang, Z. (2019). *Science of the Total Environment The performance of gravity-driven membrane (GDM) filtration for roofing rainwater reuse : Implications of roofing rainwater energy and rainwater purification*. 697.
- García, A., & Rivera, M. (2020). *Propuesta de tecnologías para el tratamiento del agua en el sistema de aprovechamiento de agua lluvia del edificio de la escuela de Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones en el campus central de la Universidad Industrial de Santander*. Tesis de pregrado. Universidad Industrial de Santander.
- Gómez, M., & Silva, M. (2019). *Propuesta de tecnologías para el tratamiento de aguas lluvias, como opción para su aprovechamiento en viviendas unifamiliares. Caso de estudio: Bucaramanga (Colombia)*. Tesis de pregrado. Universidad Industrial de Santander.
- Katrivesis, F. K., Sygouni, V., & Paraskeva, C. A. (2021). *A Performance Comparison of Pilot-Scale Sand Filtration and Membrane Filtration of Glafkos River Water*.
- L, H., & W, W. (1974). *Slow Sand Filtration* (p. 120). WORLD HEALTH ORGANIZATION.
- Lea, M. (2014). *Biological Sand Filters : Low-Cost Bioremediation Technique for Production of Clean Drinking Water*. May, 1–27. <https://doi.org/10.1002/9780471729259.mc01g01s33>
- León, C., & Muñoz, A. (2022). *Propuesta de mejoras de diseño hidráulico de dos trenes de*

tratamiento a escala de laboratorio, para el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias del edificio E3T de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga Colombia. Univesidad Industrial de Santander.

Lidia, I., & Vargas, C. De. (2010). *FILTRACIÓN LENTA COMO PROCESO DE DESINFECCIÓN* Ing. Lidia Cánepa de Vargas CEPIS-OPS Lima, Perú.

Martin Systems. (2005). *CUBE Mini Module (FM 045) General description of CUBE ® Mini Filter. Fm 045, 0–2.*

Richards, B., Li, S., Milia, M., & Schäfer, A. I. (2021). Renewable Energy Powered Membrane Technology: Energy Consumption Analysis of Ultrafiltration Backwash Configurations. *SSRN Electronic Journal*, 287(December 2021). <https://doi.org/10.2139/ssrn.3960509>

Tilley, Elizabeth; Ulrich, Lukas; Lüthi, C., & Reymond, Philippe; Schertenleib, Roland; Zurbrügg, C. (2018). *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento. Segunda Edición Revisada.* https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/schwerpunkte/sesp/CLUES/Compendium_Spanish_pdfs/compendio_sp.pdf

Universidad Mayor de San Simon. (2008). *Calidad del Agua en Sistemas de Abastecimiento en Poblaciones Rurales Dispersas.*