

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**“METODOLOGÍA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE
FILTROS DE ARENA PARA EL TRATAMIENTO DE
EFLUENTES PROVENIENTES DE TANQUES SÉPTICOS”.**

Realizado por:

AGUILERA N. PAULA L.

CARRERA M. LILIANA C.

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO ANTE LA UNIVERSIDAD DE
ORIENTE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

Barcelona, Mayo de 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**“METODOLOGÍA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE
FILTROS DE ARENA PARA EL TRATAMIENTO DE
EFLUENTES PROVENIENTES DE TANQUES SÉPTICOS”.**

JURADO CALIFICADOR:

Prof. Ana Ghanem

Asesor Académico

Prof. Hilda Morales

Jurado Principal

Prof. María Ramírez

Jurado Principal

Barcelona, Mayo de 2010

RESOLUCIÓN

De acuerdo al Artículo 57 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“PARA LA APROBACIÓN DEFINITIVA DE LOS CURSOS ESPECIALES DE GRADO COMO MODALIDAD DE UN TRABAJO DE GRADO, SERÁ REQUISITO PARCIAL LA ENTREGA A UN JURADO CALIFICADOR, DE UNA MONOGRAFÍA EN LA CUAL SE PROFUNDICE EN UNO O MÁS TEMAS RELACIONADOS CON EL ÁREA DE CONCENTRACIÓN”

DEDICATORIA

A mí papá, mi mamá y mi hermano, este es un logro que quiero compartirlo con ustedes, gracias por estar siempre conmigo apoyándome en todo momento, ocupan un lugar muy especial.

Paula

DEDICATORIA

Con mucho cariño quiero dedicarles este logro a mis padres que han estado conmigo en todo momento. Gracias por todo mamá y papá por apoyarme en el transcurso de toda mi carrera y toda mi vida, los quiero con todo mi corazón.

A mis hermanas, que son las personas más importantes en mi vida, por ser compañeras incondicionales, en ustedes siempre confío; que alcancen sus metas con todos los éxitos del mundo.

Liliana Carolina
Carrera Mejías

AGRADECIMIENTO

Primeramente a Dios, porque sin él no hubiera hecho realidad este sueño, por todo el amor con el que me rodea, al igual que mis padres y mi hermano.

Son muchas las personas especiales a las que quiero agradecer su amistad, apoyo, ánimo y compañía en las diferentes etapas de mi vida. Algunas están conmigo y otros en mis recuerdos y en el corazón. Sin importar donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

A todos mis amigos, sin excluir a ninguno pero en especial a Loumar García, Leonardo García, Juancho (Juan López), Willman Brito, Andrea Escobar (“La Chiki”), Mirca García, Claudia Netti, mil gracias por todos los momentos que hemos pasado juntos y porque han estado conmigo siempre. Como muestra de mi cariño y agradecimiento, porque veo llegar hoy a su fin una de las metas de mi vida, le agradezco la orientación que siempre me han otorgado.

Gracias.

Paula.

AGRADECIMIENTO

Sin duda los mayores agradecimientos serán siempre e infinitamente para mis padres (Leida y Jesús), a ellos les debo todo lo que soy, por ser pilares en mi vida; gracias a su esfuerzo, confianza, amor invaluable, y comprensión he finalizado esta meta superando todas las adversidades.

A mis hermanas (Keila y Mariannys), gracias a ustedes por su infinito cariño, compañía y tolerancia. Deseo que pronto logren su meta. Las quiero!

A mis tíos y abuelas por estar siempre pendiente de mí y por sus buenos consejos, en especial a mi tía María, quiero decirle que las pruebas que nos ponen en la vida son para superarlas con nuestros esfuerzos y amor todo es posible.

A mi novio José Carrera, simplemente gracias por ser mi compañero incondicional en estos últimos años, por brindarme tu amor y cariño; y sobre todo el apoyo inmenso que me has dado en todo momento.

A todos mis compañeros y amigos, les doy mil gracias por inigualable amistad y por haber hecho en el transcurso de nuestra carrera la más hermosa época de nuestras vidas, forman parte de mi, (Ana, Mirca, Andrea, Carlota, Adriana, Paula, Orlando, Luis, Armando, Willman, Franci y Lourdes) y en especial a mis amigas de toda la vida. (Yireth, Eva, Made, Geo, Ana y Flor).

A todas aquellas personas que fueron testigos y colaboradores de todo el esfuerzo hecho para cumplir esta meta. Luego de tantas pruebas y obstáculos, con seguridad puedo decir que los aprendizajes obtenidos en este proceso marcarán mi camino de hoy en adelante.

Liliana Carolina Carrera Mejías

RESUMEN

Desde los años 1970, la Universidad de Wisconsin y el estado de Oregon, de Estados Unidos han estado en la vanguardia de la investigación de filtros de arena, en cuanto a su diseño e instalación. Luego de muchos experimentos sobre la evaluación de esta tecnología, el Ministerio del Medio Ambiente de EU declaró (a mediados de la década de los ochenta), que " la filtración de arena es un sistema que produce una buena calidad de efluentes proveniente de tratamientos primarios". Esta declaración permitió que muchas comunidades de este y otros países, diseñaran programas descentralizados para el tratamiento de las aguas residuales usando como alternativa este proceso. Estos filtros consisten en una excavación o estructura hermética llena de arena uniformemente clasificada y lavada (utilizada como medio filtrante) que normalmente es colocado sobre un sistema de drenaje. También son conocidos como filtros de lecho empacados. Las aguas residuales son tratadas en la superficie de la arena por una red de distribución conectada que al filtrarse por la arena es recolectado por el sistema de drenaje. Este sistema recoge el líquido filtrado para un tratamiento posterior de recirculación o a la descarga a un sistema de infiltración sobre el suelo. Algunos son diseñados "sin fondo" que infiltran el efluente tratado directamente en el suelo debajo del medio de arena.

ÍNDICE

RESOLUCIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN	viii
ÍNDICE.....	ix
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABLAS	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
CAPITULO I.	17
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	17
1.2 OBJETIVOS.....	18
1.2.1 Objetivo General.....	18
1.2.2 Objetivos Especificos.	19
CAPITULO II.	20
MARCO TEÓRICO	20
2.1 ANTECEDENTES.....	20
2.2 BASES TEÓRICAS.....	20
2.2.1 Aguas Residuales.....	20
2.2.1.1 Características de las Aguas Residuales.....	21
2.2.2 Tratamiento de Aguas Residuales.....	21
2.2.2.1 Etapas del tratamiento de aguas residuales.	22
2.2.3 Filtros de Arena.	24
2.2.3.1 Tipos de Filtros de Arena.....	24

2.2.4 Aplicación.	28
2.2.5 Características Funcionales de los Filtros de Arena.	29
2.2.5.1 Unidad contenedora del medio filtrante.	29
2.2.5.2 Sistemas de drenaje.	29
2.2.5.3 Medio filtrante.	30
2.2.5.5 Elementos adicionales de los filtros.	32
2.2.6 Descripción del Proceso de un Filtro Intermitente de Arena.	33
2.2.7 Mecanismos de Remoción en Filtros Intermitentes de Arena.	34
2.2.7.1 Modelo para establecer la eficiencia de un filtro.	38
2.2.8 Desempeño del Tratamiento.	38
2.2.9 Consideraciones de Diseño.	40
2.2.9.1 Tipo y tamaño de las partículas filtrantes.	41
2.2.9.2 Profundidad del lecho filtrante.	44
2.2.9.3 Tasa de Carga y de Aplicación Hidráulicas.	44
2.2.9.4 Tasa de Carga Orgánica.	47
2.2.9.5 Frecuencia de Dosificación.	48
2.2.10 Bomba Dosificadora del Filtro de Arena.	49
2.2.11 Averías de Filtros Intermitentes de Arena.	51
2.2.12 Hidráulica de un Filtro Intermitente de Arena.	52
2.2.12.1 Línea de Energía del Sistema de Descarga.	52
2.2.12.2 Variaciones de Caudal en los Orificios de Descargas.	55
2.2.13 Ventajas y Desventajas.	57
2.2.14 Filtros de Arena con Recirculación.	58
2.2.14.1 Pretratamiento.	59
2.2.14.2 Componentes de un filtro de arena con recirculación.	60

2.2.14.3 Desempeño del tratamiento.....	62
2.2.14.4 Consideraciones de diseño.....	63
CAPITULO III.....	69
METODOLOGÍA.....	69
3.1 PROCEDIMIENTOS.....	69
3.2 EJEMPLOS DE CÁLCULO.....	70
3.2.1 Filtro Intermitente de Arena.....	70
3.2.2 Filtro de Arena con Recirculación.....	79
CAPITULO IV.....	89
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	89
4.1 GENERALIDADES.....	89
CAPITULO V.....	97
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97
5.1 CONCLUSIONES.....	97
5.2 RECOMENDACIONES.....	99
BIBLIOGRAFÍA.....	101
ANEXO A.....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO B.....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO C.....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO D.....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO E.....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO F.....	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Sistema de un filtro de arena. Fuente: [13]	24
Fig. 2. Vista en corte de los elementos básicos que conforman un filtro, incluyendo la geomembrana (no se aprecia la unidad contenedora), tubería de drenaje, soporte de grava, arena del filtro, tubería de distribución lateral con orificios cubiertos y capa superior de cobertura. Fuente: [5].....	30
Fig. 3. Tapa utilizada para proteger de taponamiento los orificios de una tubería de distribución. Fuente: [13]	32
Fig. 4. Componentes de un filtro de arena. Fuente: [13].....	32
Fig. 5. Efecto de la tasa de aplicación hidráulica sobre el flujo a través del medio filtrante. Fuente: [5]	35
Fig. 6. Ubicación de la bomba dosificadora del filtro en el tanque séptico. Fuente:[13].....	49
Fig.7. Ubicación de bomba dosificadora del filtro en cámara externa. Fuente: [5].....	50
Fig. 8. Diagrama de elementos para definir la línea de energía en un sistema de filtro intermitente de arena. Fuente: [5].....	53
Fig. 9. Sistema de un filtro de arena con recirculación. Fuente: Orenco Systems, Inc. 1998.....	59
Fig. 10. Diagrama de un filtro de medio granular con recirculación. Fuente: [5].....	59
Fig. 11. Válvula de bola del flotador. Fuente: [13]	61
Fig. 12. Tanque de repartición. Fuente: [5].....	62
Fig. 13. Disposición de un filtro de arena con recirculación. Fuente: [13] ..	62
Fig. 14. Válvula de distribución mecánica utilizada para alimentar diferentes secciones del filtro de lecho empacado. Fuente: [13].....	67
Fig. 15. Diagrama de un diseño modular para un sistema de filtros. Fuente: [5]	67

Fig. 16. Representación gráfica del cálculo de la altura dinámica total. Fuente: Autoras, (2010)	79
Fig. 17. Diagrama de flujo para el dimensionamiento de un filtro intermitente de arena. Fuente: Autoras (2010).....	90
Fig. 18. Hoja de cálculo en formato Excel para el dimensionamiento de un filtro intermitente de arena. Fuente: Autoras, (2010)	91
Fig. 19. Continuación de la hoja de cálculo en formato Excel para el dimensionamiento de un filtro intermitente de arena. Fuente: Autoras, (2010)	92
Fig. 20. Diagrama de flujo para el dimensionamiento de filtro de arena con recirculación. Fuente: Autoras, (2010)	93
Fig. 21. Hoja de cálculo en formato Excel para el dimensionamiento de un filtro de arena con recirculación. Fuente: Autoras, (2010).....	95
Fig. 22. Continuación de hoja de cálculo en formato Excel para el dimensionamiento de un filtro de arena con recirculación. Fuente:Autoras, (2010)	96

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Rendimiento de tratamiento de los componentes de los sistemas in situ y de los filtros de arena con recirculación o intermitentes.....	26
Tabla 2.2. Criterios para el diseño de filtros intermitentes de arena.....	40
Tabla. 2.3. Granulometría recomendada para arenas usadas como medio filtrante.....	43
Tabla 2.4 Análisis del volumen de líquido por dosis para diferentes tasas de carga hidráulica y de la frecuencia de dosificación en filtros de arena^.	45
Tabla 2.5. Valores de K para el cálculo de caudales máximos de aguas residuales de acuerdo a la población servida.....	47
Tabla 2.6. Coeficientes de rugosidad de Hazen – Williams para algunos materiales.	55
Tabla 2.7. Criterios de diseño para filtros con recirculación.	63
Tabla 3.1. Cálculo de la altura dinámica total.....	78
Tabla 3.2. Cálculo de la altura dinámica total.....	88

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, miles de hogares están siendo servidos por sistemas centralizados de disposición y tratamiento de aguas residuales, sin embargo muchas poblaciones o áreas marginales carecen de este servicio básico. Se reconoce que, para todo el país una red completa de alcantarillado no puede ser una solución factible para muchos hogares, debido a que las comunidades rurales y suburbanas presentan problemas de densidad de población y las soluciones típicamente usadas son aplicadas a áreas más grandes o urbanas.

El desafío está en ser capaces de implementar otros sistemas de tratamiento de aguas residuales como es el uso de sistemas descentralizados, con la finalidad de promover o aumentar el nivel de tratamiento exigido de estas aguas.

Los sistemas descentralizados de aguas residuales pueden combinarse con sistemas pequeños o individuales para mejorar el tratamiento y reutilización de sus aguas provenientes de pequeñas poblaciones o para conjunto de viviendas individuales. Entre muchas ventajas de los sistemas pequeños y descentralizados es su capacidad de tratar el efluente de tanque séptico a un tratamiento de aguas residuales más avanzado. Este tipo de sistema proporciona menos impacto medioambiental que las alcantarillas centralizadas.

Los filtros de arena son unidades de tratamiento físico y biológico que se han utilizado desde hace muchos años en el manejo de aguas residuales y se han empleado como parte de sistemas centralizados o descentralizados. Esta tecnología fue descubierta en la década de 1970 para el mejoramiento de la calidad de los efluentes de las lagunas de

oxidación, y se ha convertido en una parte integral del manejo descentralizado para sistemas pequeños. Estos filtros proporcionan un tratamiento secundario avanzado de aguas residuales después de que estas han recibido un tratamiento primario en un tanque séptico.

La metodología de esta investigación es promover una información completa de la descripción del proceso de filtros de arena, así como también su desempeño, aplicación, criterios de diseño, consideraciones en la construcción y labores de operación y mantenimiento, además de su dimensionamiento. La importancia de implementar este sistema se basa en que a través de sus objetivos se puede obtener un impacto positivo en la calidad y eficiencia del manejo de aguas residuales para el desarrollo de nuevas comunidades y el mejoramiento de las existentes. Esta monografía, estructurada en capítulos, se basa en un ejemplo de cálculo, que se aplicó a viviendas individuales, ubicadas en zonas sin alcantarillados, elaborando un diagrama de flujo y una hoja de cálculo en formato Excel para su dimensionamiento, utilizando el método seleccionado.

CAPITULO I.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Los sistemas descentralizados se han desarrollado en los últimos tiempos como una alternativa factible y de costos relativamente bajos, siendo aplicados para comunidades con densidad de poblaciones bajas o para aquellas comunidades aisladas de los sistemas de alcantarillados existentes, lo cual tiene como principio proteger la salud pública, proteger de la contaminación al ambiente receptor y a su vez reducir los costos de tratamiento reutilizando las aguas residuales mediante la retención de aguas y sólidos cerca de su punto de generación. A través, de estos sistemas se puede lograr un efluente de alta calidad, dependiendo de la elección del sistema más adecuado para el sitio, así como también la operación y mantenimiento del mismo.

En la medida del tiempo, las instalaciones de alcantarillados centralizados utilizados para servir grandes poblaciones dejarán de ser una solución posible o deseable, debido a que por razones tanto geográfico como económicos no será posible construir una red completa de alcantarillado para muchos habitantes, es por ello que el manejo descentralizado de aguas residuales tomará gran importancia y un grado de atención relevante con respecto al manejo futuro del ambiente.

Hay que destacar que las Normas Venezolanas vigentes, no se encuentran actualizadas con respecto a los avances tecnológicos que se han desarrollado en los últimos tiempos en relación a los métodos de disposición que se deben llevar a cabo para el tratamiento de los efluentes provenientes de tanques sépticos, solo hace referencia a cinco

métodos: sumideros, zanjas de absorción, zanjas filtrantes, filtros de arenas superficiales y filtros de arena subsuperficiales, siendo éstos dos últimos los que no se encuentran descritos en esta norma.

En base al planteamiento anterior, se realizará una metodología para el dimensionamiento de filtros de arena para el tratamiento de efluentes provenientes de tanques sépticos como sistema descentralizados mediante la ayuda de fuentes bibliográficas; en el cual se describirá el proceso de este sistema de tratamiento, las metodologías de cálculos existentes, selección del método más adecuado para dimensionamiento, así como también la elaboración de un diagrama de flujo del método seleccionado, con el fin de permitir el uso práctico de estos sistemas; siendo éste una alternativa simple y de bajo costo. De esta forma obtener mejoras en la calidad de vida de las poblaciones, que ayude con el saneamiento y disposición final de las aguas servidas.

1.2 OBJETIVOS.

1.2.1 Objetivo General.

Elaborar una metodología para el dimensionamiento de filtros de arena para el tratamiento de efluentes provenientes de tanques sépticos, basada en la selección del método de cálculo más adecuado entre los sugeridos en las diferentes fuentes bibliográficas.

1.2.2 Objetivos Específicos.

1. Investigar acerca de los diferentes métodos de cálculo existentes en la literatura para el dimensionamiento de filtros de arena para el tratamiento de aguas residuales domésticas.
2. Comparar las metodologías encontradas en base a ejemplos de cálculo y análisis de resultados.
3. Seleccionar la metodología de cálculo más adecuada en base a los resultados obtenidos.
4. Elaborar un diagrama de flujo y una hoja de cálculo en formato Excel para el dimensionamiento de filtros de arena para el tratamiento de aguas residuales domésticas, en base a la metodología seleccionada.

CAPITULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES.

A continuación se indican algunos trabajos de investigación que se han realizado relacionados con esta área, los cuales sirven como referencia para el desarrollo de este proyecto:

Lesikar y Enciso para el año 2000, elaboraron una serie de catálogos explicando brevemente la descripción y función de los diversos sistemas individuales para el tratamiento de aguas negras.

Gustafson y otros, en el año 2002, elaboraron un folleto de sistemas innovadores de tratamiento de aguas residuales in situ, dentro de ellos incluía filtros de arenas como una alternativa factible.

En el año 2003, el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS) elaboró unas especificaciones técnicas de para el diseño de filtros subsuperficiales de arena.

2.2 BASES TEÓRICAS.

2.2.1 Aguas Residuales.

Las aguas residuales son generadas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Éstas pueden ser tratadas dentro del sitio en el cual son generadas (por ejemplo: tanques sépticos u otros

medios de depuración) o bien pueden ser recogidas y llevadas mediante una red de tuberías - y eventualmente bombas - a una planta de tratamiento municipal. Los esfuerzos para coleccionar y tratar las aguas residuales domésticas de la descarga están típicamente sujetas a regulaciones y estándares locales, estatales y federales (regulaciones y controles). A menudo ciertos contaminantes de origen industrial presentes en las aguas residuales requieren procesos de tratamiento especializado. [19].

2.2.1.1 Características de las Aguas Residuales.

Las aguas residuales presentan características físicas, químicas y biológicas especiales sobre las demás aguas que es necesario comprender para optimizar su manejo: recolección, transporte, tratamiento y disposición final y minimizar los efectos adversos de su vertimiento a aguas naturales o al suelo, obteniendo así un mejor manejo ambiental de los desechos y la calidad del agua. Los parámetros más comunes son: DBO₅, SS, nitrógeno total, fósforo total, coliformes fecales entre otros. [6].

2.2.2 Tratamiento de Aguas Residuales.

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua efluente del uso doméstico e industrial. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para su disposición o reuso. Es muy común llamarlo depuración de aguas residuales para distinguirlo del tratamiento de aguas potables. [19].

2.2.2.1 Etapas del tratamiento de aguas residuales.

Según la referencia [19], las etapas del tratamiento de las aguas residuales son las que se describen a continuación:

2.2.2.1.1 Pre- tratamiento.

En todo sistema de tratamiento resulta necesaria la existencia de un tratamiento previo o pre-tratamiento que elimine del agua residual aquellas materias que pueden obstruir las bombas y canalizaciones, o bien interferir en el desarrollo de los procesos posteriores. Con el pre-tratamiento se elimina la parte de la polución más visible de cuerpos voluminosos, palos, trapos, hojas, arenas, grasas y materias similares que llegan flotando o en suspensión desde los colectores de entrada. Ejemplo: tamiz grueso, tamiz fino entre otros.

2.2.2.1.2 Tratamiento primario.

El tratamiento primario es para reducir aceites, grasas, arenas y sólidos gruesos. Este paso está enteramente hecho con maquinaria, de ahí conocido también como tratamiento mecánico. Ejemplo: tanques sépticos, tanques Imhof, filtros de disco rotatorio.

2.2.2.1.3 Tratamiento secundario.

El tratamiento secundario es designado para substancialmente degradar el contenido biológico de las aguas residuales que se derivan de la basura humana, basura de comida, jabones y detergentes. Para que sea efectivo el proceso biótico, requiere oxígeno y un substrato en el cual vivir. Hay un número de maneras en la cual esto está hecho. Ejemplo: unidades de tratamiento biológico aeróbio, filtro de turba, humedales artificiales, lagunas, filtro de arena de flujo intermitente, filtro de grava con recirculación, tratamiento acuático.

En todos estos métodos, las bacterias y los protozoarios consumen contaminantes orgánicos solubles biodegradables (por ejemplo: azúcares, grasas, moléculas de carbón orgánico, etc.) y unen muchas de las pocas fracciones solubles en partículas de flóculos. Los sistemas de tratamiento secundario son clasificados como película fija o crecimiento suspendido. En los sistemas fijos de película -como los filtros de roca- la biomasa crece en el medio y el agua residual pasa a través de él. En el sistema de crecimiento suspendido -como lodos activos- la biomasa está bien combinada con las aguas residuales. Típicamente, los sistemas fijos de película requieren superficies más pequeñas que para un sistema suspendido equivalente del crecimiento, sin embargo, los sistemas de crecimiento suspendido son más capaces ante choques en el cargamento biológico y provee cantidades más altas del retiro para el DBO y los sólidos suspendidos que sistemas fijados de película.

2.2.2.1.4 Tratamiento terciario.

El tratamiento terciario proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado al ambiente receptor (mar, río, lago, campo, etc.) Más de un proceso terciario del tratamiento puede ser usado en una planta de tratamiento. Si la desinfección se practica siempre en el proceso final, es siempre llamada pulir el efluente. [18]. Ejemplo: tratamiento en el suelo, filtros de arena intermitentes y con recirculación, filtración rápida, humedales artificiales, repurificación, desinfección con cloro, radiación UV.

2.2.3 Filtros de Arena.

Los filtros de arena son lechos o camas de material granular, o arena, y drenados o escurridos por debajo para que las aguas negras pretratadas y/o tratadas, sean recogidas y distribuidas por el sistema de aplicación al suelo. Se usan por lo general para pulir el efluente de tanques sépticos u otros procesos de tratamiento antes de distribuirlo sobre el suelo. Todos los sistemas individuales son de “no descarga”, o sea, las aguas negras tienen que permanecer en el sistema y no escaparse del terreno.

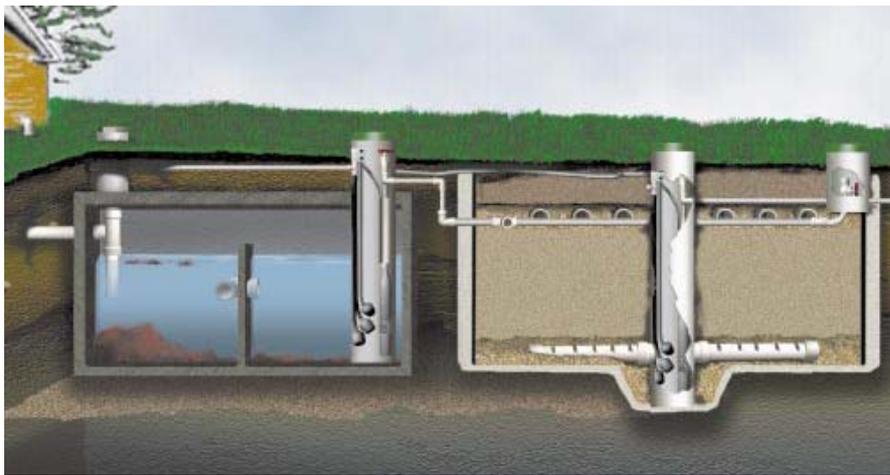


Fig. 1. Sistema de un filtro de arena. Fuente: [13]

2.2.3.1 Tipos de Filtros de Arena.

Los tipos de filtros de arena incluyen: filtro de arena intermitente, filtro de arena intermitente de recirculación, filtros de arena de descarga por gravedad, filtros de arena de descarga por bombeo y filtros de arena sin fondo.

2.2.3.1.1 Filtro de arena intermitente.

En este filtro, las aguas negras se agregan periódicamente a una cama de arena de 61 a 91 cm. de profundidad, que drena por debajo para coleccionar y eliminar el efluente. Debajo del lecho se encuentra grava y teja de recolección. Las aguas negras se aplican intermitentemente a la superficie de la cama por medio de tuberías de distribución. [17].

2.2.3.1.2 Filtro de arena intermitente con recirculación.

Es el que filtra las aguas residuales mezclando el filtrado con el efluente que sale del tanque séptico y recirculándolo varias veces por el material de filtración antes de descargarlo finalmente a un sistema de aplicación en tierra. Los componentes de este filtro son comparables a los del filtro de arena intermitente.

Las principales diferencias entre filtros de arena intermitente y un filtro de arena con recirculación son:

1. En lugar de una aplicación, el efluente de un tanque séptico u otra unidad de tratamiento se recircula a través del filtro.
2. El tamaño efectivo del medio filtrante es mayor (arena gruesa o grava fina).
3. La carga, basada en el caudal de efluente, es mayor que la de un filtro intermitente de arena.

Estos filtros son empleados para conseguir un mejor nivel de tratamiento para caudales más grandes como los procedentes de bloques de apartamentos o pequeñas comunidades. Un registro del rendimiento de un tratamiento in situ y de filtros de arena con recirculación, se presenta en la tabla 2.1 a continuación.

Tabla 2.1 Rendimiento de tratamiento de los componentes de los sistemas in situ y de los filtros de arena con recirculación o intermitentes.

Parámetro	Agua Residual bruta	Efluente del tanque séptico	30 cm por debajo de la zanja de infiltración	90 cm por debajo de la zanja de infiltración	Efluente del filtro de arena intermitente	Efluente del filtro de arena con recirculación
DBO ₅ , mg/l	210 -530	140-200	0	0	<10	<15
SS, mg/l	237-600	50-90	0	0	<10	<15
Nitrógeno, mg/l						
Total	35-80	25-60	—	—		
NH ₄ ⁺	7-40	20-60	20 ^a	—	<0,5	<0,5
NO ₃ ⁻	<1	<1	40 ^a	40 ^a	25	25
Fósforo total, mg/l	10-27	10-30	10 ^a	1 ^a		
Coliformes fecales, NMP/100 ml	10 ⁶ -10 ¹⁰	10 ³ -10 ⁶	2 ⁰ -10 ²	0	10 ² -10 ⁴	10 ² -10 ⁴
Virus, UFP/100 ml	Desconocido	10 ⁵ -10 ⁷	2 ⁰ -10 ²	0		

^aEl valor varía desde el nivel inicial hasta el valor indicado

^bUFP= unidades formadoras de placas
a los cinco días y a 20°C

SS= sólidos suspendidos
DBO₅= demanda bioquímica de oxígeno

Fuente: [9]

2.2.3.1.2.1 Filtro de arena de acceso libre.

Los filtros de arena de acceso libre son abiertos a la superficie, generalmente están sobre la superficie del suelo y tienen una tapa que facilita el acceso al sistema de arena. Los diseños de jardinería ayudan a que el sistema armonice con los alrededores. Con frecuencia, los filtros abiertos se cubren con una cubierta para mejorar las labores de mantenimiento y, en climas fríos, para aumentar la temperatura gracias a la exposición al sol.

Los filtros abiertos son básicamente iguales a los filtros enterrados con la única excepción de que se dejan abiertos a la atmósfera. El sistema consta de unas zanjas o lechos que se construyen por encima del terreno natural. El efluente de los tanques sépticos se bombea o dosifica a través de un sistema de distribución situado en una capa de suelo. Estos sistemas han sido empleados en lugares en los que: 1) los suelos son permeables y la altura sobre el nivel freático escasa; 2) la elevada

porosidad del estrato subyacente desaconseja la adopción de sistemas convencionales, 3) las pendientes son inferiores al 12%, y 4) el suelo presenta baja permeabilidad.

2.2.3.1.2.2 Filtros de arena enterrados.

Son filtros de arena enterrados, completamente cubiertos y armonizan fácilmente con los jardines. Los filtros de arena enterrados generalmente pueden procesar diariamente 4.50 L de aguas negras por metro cuadrado de área de superficie del filtro de arena. Esta baja capacidad de carga es consecuencia de los requisitos limitados de mantenimiento del sistema.

2.2.3.1.3 Filtros de arena de descarga por gravedad.

Los filtros intermitentes de arena de descarga por gravedad normalmente se usan en el costado de colinas, para lo cual se ubica el eje longitudinal en forma perpendicular a la pendiente para reducir a un mínimo la necesidad de excavación. Debido a que el efluente pasa a través del filtro por gravedad, la elevación del fondo del filtro debe ser varios metros más alta que la del campo de infiltración. Para obtener el diferencial de elevación, el filtro de arena puede ser parcialmente construido sobre el nivel del terreno.

2.2.3.1.4 Filtros de arena de descarga por bombeo.

Los filtros intermitentes de arena de descarga por bombeo se emplazan normalmente en terrenos planos. Su ubicación en relación con el campo de infiltración no es crítica debido a que una bomba ubicada dentro del lecho del filtro permite que el efluente sea bombeado a cualquier elevación o localización. Las tuberías de descarga no van a través del revestimiento del filtro de arena sino encima del mismo para proteger su integridad.

2.2.3.1.5 Filtros de arena sin fondo.

Los filtros intermitentes de arena sin fondo no tienen el revestimiento impermeable, y no descargan a un campo de infiltración sino directamente al suelo debajo del medio de arena.

2.2.4 Aplicación.

Los filtros de arena y grava fina con recirculación se utilizan principalmente para el tratamiento de efluentes de tanques sépticos generados en viviendas individuales, conjuntos habitacionales, instituciones y pequeñas comunidades. También se han empleado como unidades de nitrificación de efluentes de lagunas antes de realizar la descarga en humedales artificiales y comunidades de tratamiento previas a la desinfección con radiación UV para la reutilización del agua.

Estos sistemas aparecen como alternativa mecánicamente simple y de bajo costo para el tratamiento de caudales hasta $3785 \text{ m}^3/\text{d}$. Los filtros de arena son una adición o alternativa viable a los sistemas convencionales cuando las condiciones del terreno no son favorables para el tratamiento y disposición adecuados del agua residual mediante los lechos o las zanjas de percolación. Los filtros de arena no pueden ser usados en terrenos que tienen una cubierta de suelo muy delgada o de permeabilidad inadecuada, el nivel freático sea elevado, o la disponibilidad de área sea limitada.

2.2.5 Características Funcionales de los Filtros de Arena.

2.2.5.1 Unidad contenedora del medio filtrante.

La unidad contenedora puede ser una excavación simple en tierra o una estructura más elaborada en concreto o madera. El tipo de filtro depende de las condiciones del terreno donde se ubicará la unidad y los factores económicos. El material más común para impermeabilización es el PVC (polipropileno) de 0.76 mm. de espesor; cuando el suelo del fondo presenta una permeabilidad rápida y una adecuada separación de las aguas subterráneas, las unidades contenedoras se construyen sin geomembrana (filtro sin fondo), reduciendo significativamente los costos.

2.2.5.2 Sistemas de drenaje.

Son empleados para recolectar el líquido tratado y transportarlo a una cámara de bombeo con campo de infiltración para su disposición final. Las tuberías de drenaje cuentan con dos tipos de tuberías comunes: acanaladas y perforadas. Las tuberías acanaladas son las más utilizadas, éstas cuentan con una serie de ranuras de 6 mm. de ancho, que van hasta la mitad del diámetro ubicadas en la parte superior de la tubería para evitar que los sólidos sedimentados en el fondo bloqueen las ranuras, éstas son distribuidas a lo largo de la misma, para prevenir la formación de películas biológicas. La tubería de drenaje se cubre con una capa granular de un tamaño de partícula lo suficientemente grande para evitar el taponamiento de las ranuras.

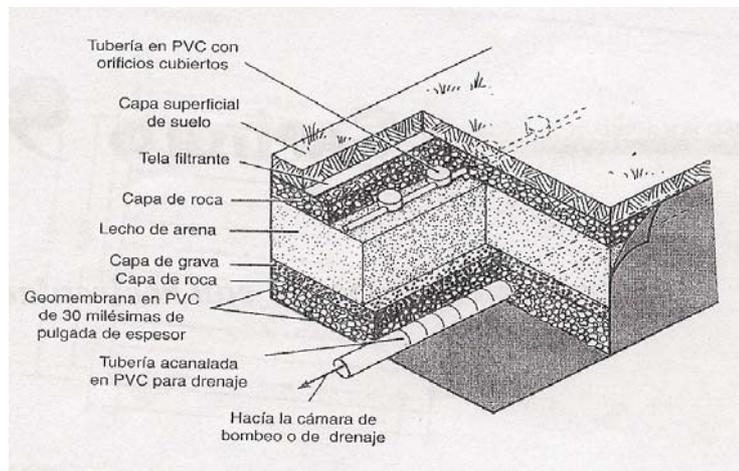


Fig. 2. Vista en corte de los elementos básicos que conforman un filtro, incluyendo la geomembrana (no se aprecia la unidad contenedora), tubería de drenaje, soporte de grava, arena del filtro, tubería de distribución lateral con orificios cubiertos y capa superior de cobertura. Fuente: [5]

2.2.5.3 Medio filtrante.

Para la construcción de filtro de lecho empacado intermitentes, la arena ha sido el medio filtrante más utilizado.

2.2.5.4 Sistemas de distribución y dosificación.

Para que el medio filtrante sea aplicado uniformemente, el líquido a filtrar requiere de un sistema de distribución que puede operar de dos formas: a presión o por gravedad. Estos sistemas de distribución cuentan con las siguientes características: boquillas de aspersion, cangilones inclinados, moldes especiales de plástico y sistemas con tuberías perforadas cuando éste es a presión.

Los tipos de tuberías más empleados para los sistemas de distribución corresponde a las tuberías perforadas con múltiples orificios de 3 mm., el diámetro de la tubería se establece de manera que la diferencia de la descarga entre orificios no supere en 10%. La tubería perforada es colocada en un lecho de grava con los orificios ubicados hacia arriba, éstos orificios se cubren con pequeñas capas para prevenir que la grava tapone los orificios y para que la descarga a presión atraviese la capa superficial del suelo.

Para el caso de zonas con temperaturas muy bajas, el sistema de dosificación se debe diseñar de tal forma que permita evacuar el agua residual remanente en la tubería de distribución después de un ciclo de aplicación, o también permitir que la orientación de cada cuatro orificios pueda colocarse hacia abajo.

2.2.5.4.1 Dosificación intermitente.

En la dosificación intermitente el líquido que se va a tratar es aplicado al lecho empacado sólo una vez. Para que la eficiencia del sistema sea óptimo, el volumen total del líquido debe distribuirse de manera uniforme en varias aplicaciones que van de 12 a 72 veces por día. Es por ello que este tipo de sistemas recibe el nombre de *sistemas intermitente*, dado que el líquido se aplica periódicamente.

2.2.5.4.2 Dosificación con recirculación.

En los sistemas de dosificación con recirculación, una fracción de líquido filtrado se vierte o destina para reutilización, mientras que la otra fracción retorna a un tanque de recirculación, donde se mezcla con el efluente de un tanque séptico, para ser aplicado de nuevo sobre el medio filtrante. Dado que el líquido circula, pasando varias veces a través del medio filtrante, este tipo de sistema recibe el nombre de sistema con recirculación. Tales sistemas emplean relaciones de recirculación que van

desde 3:1 hasta 5:1, con base en el caudal de descarga del tanque séptico. El principal efecto de la recirculación es reducir la carga orgánica aplicada al filtro con cada dosis e incrementar el oxígeno disuelto en el filtro. En general, la frecuencia de dosis varía de 48 a 120 por día.



Fig. 3. Tapa utilizada para proteger de taponamiento los orificios de una tubería de distribución. Fuente: [13]

2.2.5.5 Elementos adicionales de los filtros.

Los principales elementos adicionales que requiere una unidad intermitente depende del tipo de dosificación con la cual opere el filtro, dentro de ellos están: cámaras de bombeo, bombas y sistemas eléctricos de control.

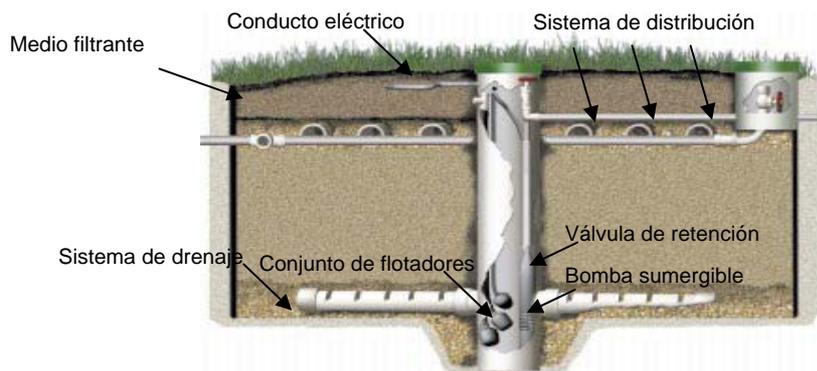


Fig. 4. Componentes de un filtro de arena. Fuente: [13]

2.2.6 Descripción del Proceso de un Filtro Intermitente de Arena.

Los filtros intermitentes de arena tienen un lecho de filtración de tamaño cuidadosamente seleccionado. La superficie del lecho se dosifica en forma intermitente con efluente, el cual se percola en un paso simple hasta el fondo del filtro a través de la arena. Después de ser recolectado en el desagüe inferior, el efluente tratado es conducido a una tubería para tratamiento adicional o para su disposición. Los dos componentes básicos del sistema son una unidad (o unidades) de tratamiento primario (un tanque séptico u otro método de sedimentación) y el filtro de arena.

Los filtros intermitentes de arena remueven contaminantes del agua residual mediante procesos de tratamiento físicos, químicos y biológicos. Si bien los procesos fisicoquímicos juegan un papel importante en la remoción de muchas partículas, los procesos biológicos desempeñan el papel más significativo en los filtros de arena.

Los filtros intermitentes de arena, generalmente se construyen debajo del nivel del terreno, que están recubiertas por una membrana impermeable, en donde esto sea requerido. El desagüe está rodeado por una capa de grava de tamaño seleccionado y roca triturada cuyo extremo aguas arriba es ventilado y sobresale a la superficie. Sobre la capa de grava y roca se coloca grava de grano, y encima de esta se deposita la capa de arena. A continuación se coloca otra capa de grava de tamaño seleccionado en donde se encuentran las tuberías de distribución. Una válvula de lavado se encuentra en el extremo de cada tubería lateral de distribución. Una tela de filtro de baja densidad se coloca sobre la capa final de roca, la cual evita que los limos se entremezclen con la arena al mismo tiempo que permite el paso del agua y el aire. La capa superior del filtro se rellena finalmente con arena gredosa que puede contener

vegetación herbácea. Para viviendas individuales normalmente se diseñan filtros intermitentes de arena enterrados

2.2.7 Mecanismos de Remoción en Filtros Intermitentes de Arena.

El tamaño del medio filtrante, la tasa de aplicación hidráulica por dosis y tasa de aplicación de sólidos y de materia orgánica por dosis son variables del proceso que afectan la remoción de DBO, SST, grasas y aceites, turbiedad, nitrógeno, bacterias y virus. Aunque los mecanismos de remoción son fundamentalmente los mismos para los dos tipos de filtros, existen diferencias relacionadas con la forma de aplicación en los filtros de recirculación.

Los filtros de arena son esencialmente aeróbicos. Cuando el filtro entra en funcionamiento, aparece una delgada película bacteriana en las capas superiores sobre los granos del medio filtrante; esta película es muy importante dentro del funcionamiento normal del filtro, ya que mediante absorción retiene microorganismos y materia coloidal soluble y particulada presentes en el agua residual sedimentada. Los materiales absorbidos son incorporados dentro de la nueva masa celular degradándose bajo condiciones aerobias a dióxido de carbono y agua, durante el intervalo de tiempo entre aplicaciones de líquido. La materia orgánica soluble se asimila casi de manera instantánea debido a que atraviesa la membrana celular y de esta forma se convierte en productos finales de degradación, mientras que el material coloidal se solubiliza enzimáticamente.

Con cada aplicación de líquido, algunos productos finales, entran al lecho y eventualmente son removidos del fondo del filtro. Mediante la

filtración las partículas de mayor tamaño son retenidas dentro del medio filtrante; la retención se presenta mediante mecanismos mecánicos y de contacto aleatorio. Cuando se reduce la carga orgánica y de sólidos que se aplica sobre el filtro, las partículas orgánicas de mayor tamaño se degradan de forma bioquímica entre dosis y en las primeras horas de la mañana, ocurriendo de manera igual para las sustancias solubles y el material coloidal. Cuando el filtro madure, la partícula bacterial cubrirá todo el medio filtrante, debido a que las partículas más grandes se remueven en la parte superior del filtro, no existe una distribución lineal de sólidos dentro del mismo, por esto presenta una acumulación en los primeros 100 a 200 mm de la parte superior.

El tamaño de las partículas y de la tasa de aplicación hidráulica del medio filtrante es importante, presentándose en los tres siguientes casos dependiendo del número de dosis aplicada al medio:

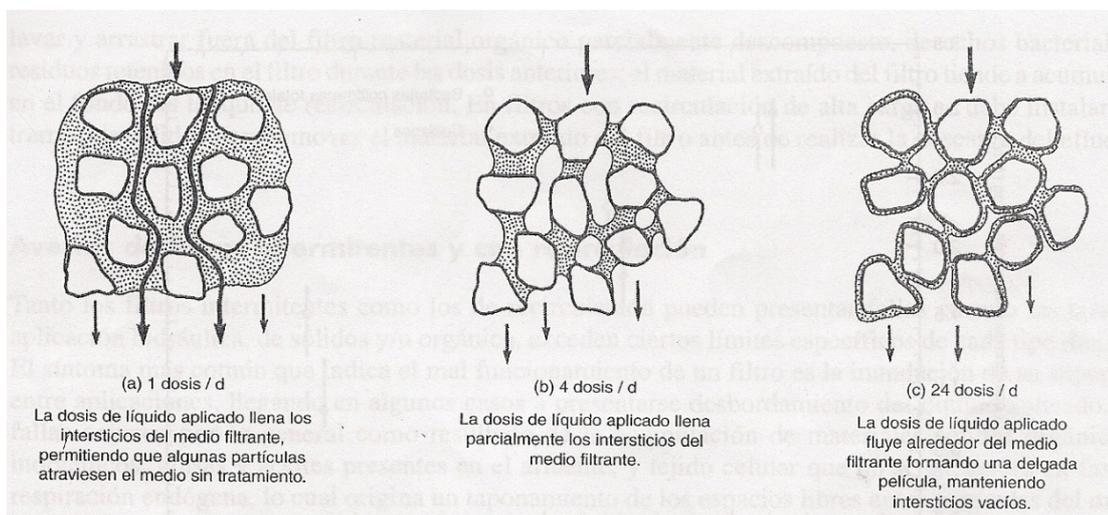


Fig. 5. Efecto de la tasa de aplicación hidráulica sobre el flujo a través del medio filtrante. Fuente: [5]

- (a) Cuando el volumen del líquido aplicado es suficiente para llenar los espacios vacíos, parte del material orgánico, partículas coloidales y microorganismos pueden atravesar el filtro sin tratamiento alguno.
- (b) Cuando se reduce el volumen del líquido aplicado en cada dosis se puede presentar parcialmente un flujo no saturado.
- (c) Si el volumen del líquido aplicado en cada dosis se reduce aún más, el líquido fluirá a través del medio filtrante en forma de una delgada película.

Luego que esto ocurre los constituyentes del agua residual aplicada que se encuentra en forma soluble y coloidales, son absorbidos, y el oxígeno del aire ubicado entre los intersticios del medio pasa a través de la película del líquido hasta las bacterias aerobias, responsables de la oxidación de la materia orgánica carbonácea; esta oxidación ocurre en la parte superior del lecho del filtro formando una película delgada; la concentración de oxígeno en el aire juegan un papel importante en la operación de filtros intermitentes y con recirculación, debido a que es imperativo que el líquido aplicado sobre el medio filtrante forme esa película líquida logrando así un desempeño mucho más eficiente del filtro. Cabe destacar que la concentración de oxígeno en el aire a 20° C es de aproximadamente 250 mg/L. [5].

Cuando ocurre la oxidación de la materia orgánica carbonácea, al mismo tiempo, el amonio se convierte en nitrato (nitrificación), esta materia orgánica es casi completamente removida si el tiempo de retención de aguas residuales en el medio es lo suficientemente largo para que los microorganismos puedan absorber y reaccionar con los componentes desechados; en las pequeñas zonas anóxicas del filtro, el nitrato se convierte en nitrógeno gaseoso (desnitrificación). Los organismos utilizan el carbono como la fuente de energía para que ocurra



el proceso de desnitrificación. La eficiencia del filtro se mantiene cuando los microorganismos permanecen en la tasa de crecimiento endógeno; es decir ellos comienzan a utilizar su metabolismo almacenado o las células muertas para su alimento. Si los microorganismos son mantenidos en esta fase de crecimiento, el aumento de la biomasa no ocurre y la obstrucción puede ser mínima. Sí la carga orgánica es muy grande, la tasa de crecimiento bacterial aumentará y se presentará una acumulación de película bacterial dentro del filtro provocando, en últimas que es sistema falle. [5].

La formación de una película delgada en el flujo es de vital importancia si se requiere eliminar el virus, ya que se ha demostrado que la formación de una película bacterial densa sobre el medio filtrante, tiene un efecto significativo sobre la remoción de virus. [5].

Para lograr un tratamiento aceptable, las aguas residuales tienen un tiempo de retención en el filtro que debe ser lo suficientemente largo y la reaireación de los medios deben producirse para satisfacer las la demanda de oxígeno de las aguas residuales aplicadas. El tamaño de la distribución de los poros y la continuidad del medio filtrante, el volumen de la dosis y la frecuencia de dosificación son claves en el diseño y operación de las consideraciones para el logro de estas condiciones. A medida que se incrementa el tamaño efectivo y la uniformidad del medio, aumenta la tasa de reaireación, pero el tiempo de retención disminuye. Resultados del tratamiento puede disminuir si el tiempo de retención es demasiado corto. Si es así, puede ser necesarias la recirculación del agua residual a través del filtro varias veces para lograr un tiempo de retención deseado y un buen desempeño del tratamiento. Varios volúmenes de pequeñas dosis que no crean una saturación frente al medio, se puede utilizar para largos tiempos de residencia. Si las condiciones de saturación se evitan, las tensiones de humedad en el medio seguirán siendo altas, la

cual se redistribuirán al aplicar las aguas residuales en todo el medio, esto mejorará el contacto con la biomasa en el medio. El intervalo entre las dosis proporciona un tiempo de reaireación del medio para así reponer el oxígeno consumido, durante las dosis anteriores.

2.2.7.1 Modelo para establecer la eficiencia de un filtro.

La eficiencia de un filtro intermitente se ha planteado como un modelo matemático basado en una cinemática de primer orden, así:

$$\frac{C}{C_0} = e^{-k_{ab}t} \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Donde:

C = concentración en el efluente, mg/L.

C₀ = concentración en el afluente, mg/L.

k_{ab} = coeficiente de remoción por absorción de primer orden, d⁻¹.

t = tiempo nominal de transporte a través del filtro, d.

Dado que el coeficiente de remoción de primer orden es un *coeficiente de absorción*, opuesto a un coeficiente cinético, su valor cambiará por cada filtro, ya que depende de la carga hidráulica superficial y del nivel de desarrollo de la película bacterial. Los tiempos de transporte más comunes para filtros intermitentes de arena, son del orden de 20 a 30 s, pero pueden variar de acuerdo al espesor de la película bacterial. [5].

2.2.8 Desempeño del Tratamiento.

Los filtros intermitentes de arena alimentados con múltiples dosis, produce un efluente de gran calidad con bajas concentraciones de DBO₅ (iguales o menores a 10 mg/L), SST y turbiedad, así como una

nitrificación igual o mayor al 50% del amoníaco aplicado. Un diseño apropiado (cargas bajas, pequeñas dosis y numerosos orificios en la distribución) promueve además una efectiva remoción de virus y de coliformes totales y fecales. [5].

El desempeño de un filtro intermitente de arena depende del tipo y la biodegradabilidad del agua residual, los factores medioambientales dentro del filtro, y las características de diseño del filtro. Los factores medioambientales más importantes que determinan la efectividad del tratamiento son la reaireación del medio y la temperatura. Debe haber oxígeno entre los poros para que los microorganismos puedan descomponer los sólidos en las aguas residuales. Si el filtro no tiene buena circulación de aire, como cuando se cubre con arcilla pesada, el sistema se puede tapar. La temperatura afecta directamente la tasa de crecimiento microbiano, las reacciones químicas, el mecanismo de absorción y otros factores que contribuyen a la estabilización del agua residual dentro del filtro intermitente de arena. El desempeño del filtro es normalmente mejor en áreas en donde el clima es cálido en comparación con las de clima frío, debido a que las temperaturas bajas reducen la tasa de descomposición de material. [18].

El filtro de arena purifica el agua de tres formas:

- *La filtración.* En este método, las partículas se separan físicamente de las aguas residuales que entran por medio de la filtración.
- *La absorción química.* En la absorción química, los contaminantes y el crecimiento biológico se pegan a la superficie de la arena.
- *La asimilación.* En este método, los microorganismos aeróbicos consumen los nutrientes de las aguas residuales. El éxito en el tratamiento de las aguas residuales depende de estos microorganismos.

Los filtros de arena a menudo se entierran parcial o completamente en el suelo, pero se pueden construir sobre suelos que tienen un alto nivel freático o un lecho de roca. Los filtros de arena deben llevar algún tipo de cobertura, especialmente en áreas donde llueve mucho y donde hay periodos largos de temperaturas bajo cero.

Las aguas residuales que se aplican al filtro de arena deben ser pretratadas, tal como en un tanque séptico. El efluente del tanque séptico se distribuye después uniformemente sobre la superficie de la arena.

2.2.9 Consideraciones de Diseño.

Los factores de mayor importancia en el diseño de filtros intermitentes de arena son: el tipo y tamaño de las partículas filtrantes, la profundidad del lecho filtrante, la tasa de carga hidráulica, la tasa de carga orgánica, y la frecuencia y duración de la dosificación. En la tabla 2.2 se presentan algunos criterios para el diseño de filtros intermitentes de arena, reportados como intervalos, ya que los valores específicos para diseño se definen de acuerdo con el objetivo del tratamiento. [5].

Tabla 2.2. Criterios para el diseño de filtros intermitentes de arena.

Elemento	Unidad	Intervalo	Valor usual
Pretratamiento			
Mínimo; tanque séptico ó equivalente			
Medio filtrante			
Material		Arena lavada	
Tamaño efectivo	mm	0.25 - 0.75	0.35
Coefficiente de uniformidad		<4.0	3.4
Profundidad	mm	450 – 900	600
Sistema de drenaje			
Clase		Tubería con ranuras o perforaciones	
Pendiente	%	0 - 0.1	0
Tamaño	mm	75 – 100	100
Presión de distribución			
Tamaño de la tubería	mm	25 – 50	38
Tamaño del orificio	mm	3 – 6	3
Cabeza en el orificio	m	1 – 2	1.6
Distancia entre tuberías	m	0.5 - 1.2	0.6

Distancia entre orificios	m	0.5 – 1.2	0.6
Parámetros de diseño			
Carga hidráulica *	L/m ² .d	40 – 60	50
Carga orgánica	Kg DBO/m ² .d	0.0025 – 0.01	< 0.005
Dosificación			
Frecuencia	veces/días	12 – 48	18
Volumen sobre orificio	L/orif-dosis	0.6 – 1.1	0.9
Volumen del tanque dosificación	Caudal/día	0.5 – 1.5	1.0

*Con base en el caudal pico. Fuente:[5]

2.2.9.1 Tipo y tamaño de las partículas filtrantes.

Muchos tipos de medios son usados como lechos filtrantes. La arena lavada y clasificada es el medio más común. Otros medios granulares usados incluyen la grava, la antracita, cristal triturado, entre otros. El cristal triturado ha sido estudiado, y fue encontrado para funcionar de modo similar a la arena de igual tamaño y uniformidad.

La granulometría de las arenas y de cualquier otro medio granular se determina empleando una serie de tamices graduados. Las diferentes cantidades de arena retenidas en cada tamiz se pesan, agregándose las cantidades sucesivas retenidas en la tapa inferior del juego de tamices, para así obtener los pesos acumulados, los cuales se convierten a porcentaje en peso de partículas con tamaño menor o igual a la abertura de la malla del tamiz correspondiente. Posteriormente se realiza una gráfica de porcentaje acumulado contra el tamaño de malla en papeles con escala aritmética-logarítmica o probabilidad-logarítmica, para obtener la distribución del tamaño de la partícula.

El tamaño efectivo d_{10} y el coeficiente de uniformidad (CU) son las principales características del medio filtrante que afectan el diseño y la operación de los filtros intermitentes de arena. Para medios filtrantes sólidos como la arena, el tamaño efectivo d_{10} se define como el tamaño de malla que permite pasar 10% de la masa del material, determinado mediante un ensayo granulométrico en húmedo (ASTM C117-95). El

método de ensayo granulométrico en húmedo se recomienda porque el análisis en seco no se puede determinar adecuadamente la fracción del material fino. Cabe anotar que el tamaño efectivo calculado por este método se aproxima al valor medio calculado por conteo. El coeficiente de uniformidad se define como el tamaño que permite el paso de 60% dividido por el tamaño que permite el paso del 10%.

$$CU = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad \text{Ec. (2.2)}$$

El tamaño del grano de la partícula afecta el tiempo que tarda el líquido en atravesar el medio filtrante. El coeficiente de uniformidad se utiliza para determinar si las partículas tienen un tamaño similar, o si por lo contrario el tamaño de la partícula se distribuye en un amplio intervalo.

La importancia del tamaño efectivo se puede apreciar al considerar la fórmula de Hazen - Williams, para la velocidad del flujo del agua a través de un medio poroso bajo condiciones de saturación.

$$v_h = C(d_{10})^2 \frac{h}{L} \left(\frac{T + 10^\circ}{60} \right) \quad \text{Ec. (2.3)}$$

Donde:

v_h = velocidad superficial de filtración (aproximada, m²/día).

C = coeficiente de compactación (varía de 700 a 1000 para lechos de arena nuevos, y de 500 a 700 para lechos con varios años de uso).

d_{10} = tamaño efectivo del medio, mm.

h = pérdidas de cargas, m.

L = profundidad del lecho o capas del filtro, m.

T = temperatura, °F.

Existen dos importantes motivos que impulsan a la elección de la arena como medio filtrante para filtros intermitentes: 1) su durabilidad y 2)

el hecho de estar libres de polvos, de partículas orgánicas finas, limos finos y partículas de arcilla. En muchas ocasiones, la utilización de arena sin lavar trae como consecuencias una mala operación y una rápida colmatación de los sistemas con filtros intermitentes de arena. A veces, el material fino presente en el medio filtrante migra hasta el fondo del filtro formando una capa que impide el drenaje normal. Idealmente, la arena debe ser lavada y secada en un horno. [5].

La efectividad del material granular como medio filtrante depende del tamaño, la uniformidad y la composición de los granos. El tamaño del medio granular se correlaciona con el área superficial disponible para el desarrollo de microorganismos que dan tratamiento al agua residual. Por esta razón, el tamaño del medio afecta la calidad del efluente filtrado. En la tabla 2.3 se presentan los tamaños recomendados para arenas usadas como medios filtrantes.

Tabla. 2.3. Granulometría recomendada para arenas usadas como medio filtrante.

Tamaño número de tamices, pulg.	Tamaño de la abertura, mm	Porcentaje acumulado de sólidos que pasan	
		Intervalo	Valor usual
3/8	9.5	100	100
4	4.75	40 – 100	99
10	2.0	62 – 100	84
16	1.18	45 – 82	54
30	0.6	25 – 55	25
50	0.3	5 – 20	6
60	0.25	0 - 0.10	4
100	0.15	0 - 0.4	Localizar

Fuente: [5]

El grado de limpieza de una arena o grava se puede estimar en campo realizando una sencilla prueba de jarras. En el ensayo, un recipiente se llena hasta la mitad del material a evaluar, y se completa el volumen con agua; después se tapa la botella, se agita vigorosamente y

se deja sedimentar por 30 minutos. Si en la parte superior del material filtrante se forma una pequeña capa, la arena no se encuentra lo suficientemente limpia para ser utilizada como medio filtrante. [5].

2.2.9.2 Profundidad del lecho filtrante.

La profundidad de los lechos de arena ha oscilado entre 450 y 1200 mm, siendo la profundidad más común 500 mm. Históricamente se han utilizado lechos de arena profundos, ya que durante la operación se remueven periódicamente entre 20 y 50 mm de la capa superior del lecho; sin embargo un lecho profundo no garantiza una buena calidad del efluente. Con la utilización de lechos pocos profundos (450 mm) se ha encontrado que las remociones de DBO y SST siguen siendo elevadas, mientras que el grado de nitrificación se reduce de manera significativa. [5].

2.2.9.3 Tasa de Carga y de Aplicación Hidráulicas.

Las tasas de carga hidráulica son parámetros apropiados para el diseño de filtros intermitentes de arena, cuando se desea considerar el desempeño del mismo se debe de tomar en cuenta que la tasa hidráulica de aplicación (THA) es un parámetro mucho más apropiado para el diseño. La THA se expresa en milímetros por dosis del líquido, y se define como:

$$THA = \frac{L_w}{FD} \quad \text{Ec. (2.4)}$$

Donde:

THA = tasa hidráulica de aplicación, mm/dosis.

L_w = tasa de carga hidráulica, mm/d.

FD = frecuencia de dosis, dosis/d.

En general, entre más alta sea la carga hidráulica, la calidad del efluente para un medio determinado tiende a desmejorarse. Las tasas hidráulicas altas se usan generalmente en filtros con un medio de mayor tamaño, o en sistemas que reciben agua residual de mejor calidad. La importancia de la tasa hidráulica de aplicación se puede apreciar en la información presentada en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Análisis del volumen de líquido por dosis para diferentes tasas de carga hidráulica y de la frecuencia de dosificación en filtros de arena[^].

Tasa de carga hidráulica, mm/d	Frecuencia de dosificación, dosis/d	Tasa hidráulica de aplicación, mm/dosis	Saturación del lecho*, %
40	1	40	1
	2	20	0.5
	4	10	0.25
	8	5	0.12
	12	3.3	0.083
	24	1.67	0.042
81	1	81	2
	2	40	1
	4	20	0.5
	8	10	0.25
	12	6.75	0.12
	24	3.38	0.083
163	1	163	4
	2	82	2
	4	41	1
	8	20	0.5
	12	14	0.33
	24	6.79	0.17

[^] Para 0,1m² de área superficial y una profundidad de de 0,40 m

*5% de contenido de agua por volumen (volumen de agua/volumen total).

Fuente: [5]

Las tasas de carga hidráulicas más comunes (L_w) para filtros intermitentes de arena, basadas en el caudal pico, varía de 40 a 80 mm/día. Aunque se han utilizado tasas de cargas hidráulicas superiores, filtros con arena fina (0,29 mm), dosificador 24 veces/d, se ha colmatado al ser operado con cargas de 160 mm/d. Tasas de carga hidráulica entre

80 y 240 mm/d se han utilizado para lechos de arena con tamaños de partículas mayores. [5].

El caudal pico se utiliza como caudal de diseño, ya que a largo plazo, el desempeño del filtro depende del control que se realice sobre la cantidad de materia orgánica adicionada en cada dosis; en caso de utilizar el caudal promedio como caudal de diseño, la cantidad de materia orgánica aplicada por dosis sobre el filtro excedería el valor recomendado un 50 % del tiempo. Para el diseño de filtros intermitentes de arena [5], se sugiere un factor pico de 2.5.

Para poder realizar una elección más racional del caudal de diseño, se recomienda utilizar un aporte per capita basado en el caudal pico. Los factores correspondientes a los caudales pico para la determinación de caudales máximos y horario se pueden determinar de varias formas: basado en los registros de flujo de aguas residuales, basado en los datos de comunidades similares o mediante el uso de curvas o fórmulas. El factor pico es aquel correspondiente a la relación que existe entre el valor del caudal máximo y el caudal promedio:

$$\text{Factor pico, } K = \frac{\text{Caudal max promedio}}{\text{Caudal promedio}} \quad \text{Ec. 2.5}$$

Según las Normas Sanitarias Venezolanas referencia [10], el valor de K para el caudal pico ó máximo horario, se debe determinar utilizando la fórmula de Harmon:

$$K = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Donde: P es la población en miles de habitantes.

El valor de K se debe también aplicar para la determinación de los caudales máximos comerciales, institucionales e industriales, llevando los respectivos caudales calculados en cada caso en particular, a población equivalente. Esta población equivalente se obtiene dividiendo el caudal correspondiente calculado por la dotación asignada por habitante (250 L/hab-d).

Existen otras normas venezolanas para desarrollos urbanísticos [11, 12], que también sugieren valores de k , tal como se muestra en la tabla 2.5.

Tabla 2.5. Valores de K para el cálculo de caudales máximos de aguas residuales de acuerdo a la población servida.

Población, en número de habitantes	Factor K
Hasta 20.000	3,00
De 20.001 hasta 75.000	2,25
De 75.001 hasta 200.000	2,00
De 200.001 hasta 500.000	1,60
Mayor de 500.000	1,50

Fuente: [11].

2.2.9.4 Tasa de Carga Orgánica.

Está compuesta por la materia orgánica soluble y particulada aplicada al filtro por unidad de área; en general se expresa en kg. de DBO_5 o $\text{DQO}/\text{m}^2\cdot\text{d}$. En algunas referencias, la tasa de carga orgánica se expresa respecto al volumen del filtro, como kg. de DBO_5 o $\text{DQO}/\text{m}^3\cdot\text{d}$. La cantidad de materia orgánica aplicada al filtro en cada dosis debe ser tal que permita a los microorganismos presentes en la capa biológica realizar los procesos de degradación durante el tiempo comprendo entre dosis. Aunque no se han definido valores aproximados de tasa de carga orgánica, los valores más comunes utilizados oscilan entre 0.0025 a 0.01 kg de $\text{DBO}/\text{m}^2\cdot\text{d}$. [5].

2.2.9.5 Frecuencia de Dosificación.

El aumento de la frecuencia de dosificación de 1 a 4 veces por día a más de 12 veces por día ha mejorado el desempeño de los filtros en particular en aquellos que utilizan arenas de diámetro de partículas grandes. Para tratar el efluente de un tanque séptico normal se recomienda emplear 18 dosis/d como mínimo. En caso de que la concentración de DBO_5 en el efluente del tanque séptico aumente (valores superiores a 200 mg/L), se aconseja aumentar la dosis a 24 por día. Si se desea aumentar el caudal a tratar en los filtros intermitentes de arena, la cantidad descargada, por orificio, se debe limitar a un máximo de 1 L/d. [4]. Es esencial que el sistema de dosificación proporcione una distribución uniforme (en tiempo y volumen) del agua residual a lo largo del filtro. El sistema debe también permitir un tiempo suficiente entre las dosis para permitir la reaireación del espacio de los poros. [5].

La bomba que dosifica el filtro se puede ubicar en la cámara de filtración del tanque séptico o en una bomba externa al tanque séptico. La dosificación se controla mediante un tablero que emplea interruptores con flotadores y uno o más temporizadores. Al controlar las dosificaciones por un temporizador se garantiza una aplicación uniforme sobre el filtro durante el transcurso del día. Además los súbitos aumentos de caudal (provocado por descarga de lavadoras), se almacena en el tanque séptico o en la caja de bomba externa. El desempeño del filtro puede mejorar en la medida que se limite la cantidad de líquido dosificado y mantenga fijo el tiempo de aplicación de cada dosis. [4]. A pesar de que el control en la dosificación se realiza con frecuencia utilizando interruptores con flotadores, éstos no se recomiendan debido a que la cantidad de agua residual dosificada y el tiempo entre dosis resulta desigual, lo cual puede ocasionar una colmatación prematura del filtro. [5].

2.2.10 Bomba Dosificadora del Filtro de Arena.

El tanque séptico está equipado con una caja fácilmente desprendible, protegida que almacena una bomba. Una cámara de bombeo típica se muestra en la Fig. 6 y 7, que consta de los siguientes componentes:

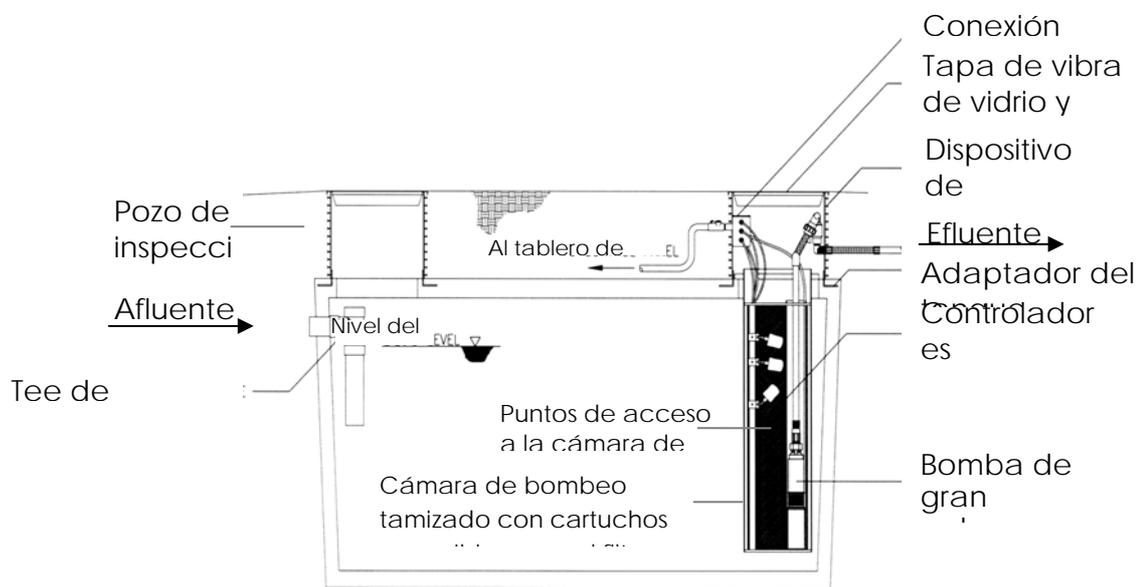


Fig. 6. Ubicación de la bomba dosificadora del filtro en el tanque séptico. Fuente:[13].

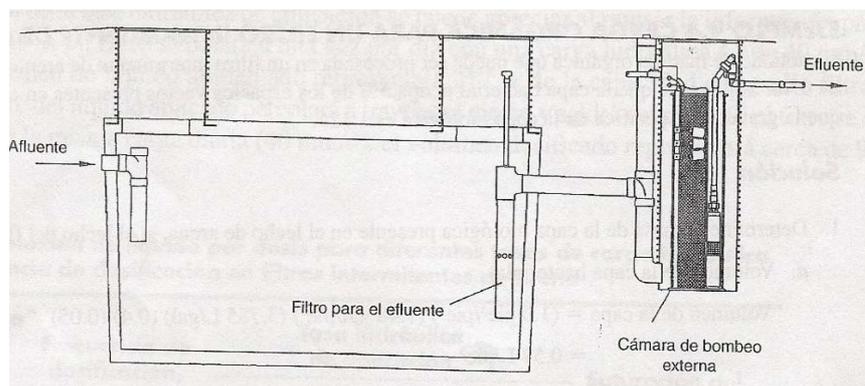


Fig.7. Ubicación de bomba dosificadora del filtro en cámara externa.

Fuente: [5]

Bomba: Se recomiendan bombas de tipo de turbina sumergibles de buena calidad debido a su alta resistencia a la corrosión, de larga vida (250,000 a 2 millones de ciclos), de peso ligero (14 kg), y con capacidad para bombear 20 a 30 rpm requeridos para 61 m o más. El funcionamiento del mismo está inclinado a la característica de estas bombas, que es un elemento valioso para la medición de presión. Si uno de los orificios comienza a obstruirse, la presión se aumentará para limpiar la obstrucción.

Caja de conexión eléctrica: Requieren de esto para que los componentes eléctricos (bombas y los interruptores de flotadores) estén de manera segura y pueden ser quitados y sustituidos fácilmente.

Controlador de nivel: Usado correctamente, tanto para flotadores de mercurio como flotadores de interruptor, recientemente se han demostrado mecánicamente ser confiables y exactos. Los flotadores siempre deberán ser conectados a un sistema de apoyo diseñado para el objetivo. El atarlos con correa al tubo de descarga de la bomba es una mala práctica. La vibración de bomba tiende a aflojar las correas que hacen que los flotadores se desajusten.

Dispositivo de descarga: Todas estas partes deberían ser de PVC para evitar la corrosión, se debería incluir una unión de PVC para retirar la bomba fácilmente. Se requiere un agujero de 3.2 mm entre la válvula de comprobación y el eje de la bomba para prevenir el aire que entra en ella. El agujero siempre debería ser localizado bajo el nivel mínimo del agua.

Tablero de control: Una fibra de vidrio es incluida en el panel de control de la bomba, la corriente transmitida en un filtro intermitente de arena tiene que tener UL o el listado de CSA, con características de paso ligero con terminales magnéticos, interruptor MAA (manual, apagado, automático), alarma audible y visual, relevo de silencio, y el circuito de alarma separado de circuito de la bomba. Esto también debería tener la supervisión de dispositivos de monitoreo como contadores. Cuando un tablero de control regula una bomba en el tanque séptico y una bomba en el filtro de arena, condiciones de alto nivel de agua ocurre en el fondo del filtro de arena y esto no activa ninguna alarma pero previene a la bomba en el tanque séptico de añadirle un efluente adicional al filtro intermitente de arena. En los “Tableros inteligentes” se activa la alarma cuando el nivel del agua esta muy bajo y también cuando mucha agua esta pasando por todo el sistema.

Cámara de Bombeo: Esto es requerido para asegurar que ningún sólido grueso sea bombeado del tanque séptico al filtro intermitente de arena.

2.2.11 Averías de Filtros Intermitentes de Arena.

Los filtros intermitentes pueden presentar fallas cuando la tasa de aplicación hidráulica de sólidos excede de los límites específicos, siendo estos:

- La inundación de su superficie entre aplicaciones presentando desbordamiento del líquido aplicado.
- La acumulación de materiales sólidos orgánicos e inorgánicos, grasas y aceites, y tejido celular puede presentar fallas en el sistema, provocando un taponamiento de los espacios libres entre partículas del medio filtrante.

- Taponamiento de los sistemas de drenaje por la presencia de demasiadas partículas finas en el medio filtrante.

Cuando la cantidad aplicada de material orgánico particulado y en solución supera los requerimientos alimenticios necesarios para que los microorganismos en la delgada capa se mantenga a una tasa de crecimiento bajo, tendrá lugar un incremento en la tasa de crecimiento.

2.2.12 Hidráulica de un Filtro Intermitente de Arena.

El análisis hidráulico para un filtro empacado intermitente involucra la determinación de la línea de energía específica para la configuración de un sistema dado, de manera que se seleccione la bomba adecuada y se determine la diferencia entre las descargas de caudal a través de los orificios de las tuberías de distribución.

2.2.12.1 Línea de Energía del Sistema de Descarga.

Los elementos que se deben considerar para la construcción de la línea de energía del sistema de descarga se presentan en la gráfica de la Fig. 8.

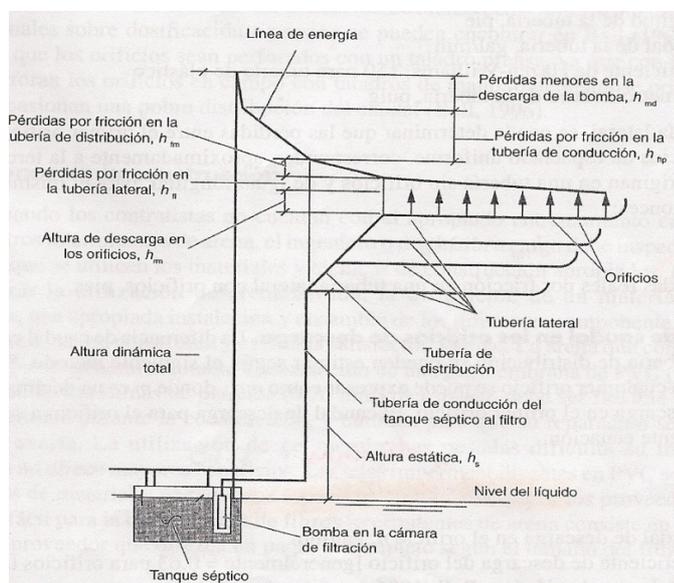


Fig. 8. Diagrama de elementos para definir la línea de energía en un sistema de filtro intermitente de arena. Fuente: [5].

1. Altura estática del sistema, h_s .
2. Pérdidas menores en las cargas de la bomba, h_{md} .
3. Pérdidas por fricción en las tuberías de conducción desde la cámara de filtración del tanque séptico (o a la cámara de bombeo externa) hasta el filtro, h_{ftp} .
4. Pérdida por fricción en la tubería de distribución que conecta a la tubería de conducción con las tuberías laterales, h_{fm} .
5. Pérdidas por fricción en las tuberías laterales, h_{fl} .
6. Altura de descarga en los orificios, h_{rm} .

La altura dinámica total (ADT) para el sistema es:

$$ADT = h_s + h_{md} + h_{ftp} + h_{fm} + h_{fl} + h_{rm} \quad \text{Ec. (2.7)}$$

Las pérdidas menores se calculan como una función de la altura de velocidad. Las pérdidas por fricción se calculan mediante la ecuación de Darcy – Weisbach o la ecuación Hazen – Williams. La ecuación de Hazen - Williams se utiliza en general para tuberías de plásticos:

$$h_{fp} = 10.674(L) \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} (D^{-4.871}) \quad \text{Ec. (2.8)}$$

Donde:

h_{fp} = pérdidas por fricción en tuberías, m.

L= longitud de la tubería, m.

Q= caudal de la tubería, m³/s.

C= coeficiente de Hazen- Williams, (ver tabla 2.6).

D= diámetro interno de la tubería, m.

Para una tubería lateral, se puede determinar que las pérdidas entre el primer orificio y el último en una serie de orificios de espaciado uniforme, corresponde aproximadamente a la tercera parte de las

pérdidas que se originan en una tubería sin orificios y de igual longitud, para el mismo caudal. Entonces:

$$h_{fdp} = 1/3h_{fp} \quad \text{Ec. (2.9)}$$

Donde:

h_{fdp} = pérdidas reales por fricción en una tubería lateral con orificios, m.

Tabla 2.6. Coeficientes de rugosidad de Hazen – Williams para algunos materiales.

Material	C
Hierro dúctil	120
Acero con revestimiento	120
Asbesto – cemento	128
Cloruro de polietileno (PVC)	140 – 150

Fuente: [11]

2.2.12.2 Variaciones de Caudal en los Orificios de Descargas.

La diferencia de caudal entre los orificios de descarga de tuberías de distribución se puede estimar según el siguiente método. Se debe suponer que la descarga en cualquier orificio se puede expresar como mq_1 , donde m es un decimal menor a 1 y q_1 es el caudal de descarga en el primer orificio.

El caudal de descarga para el orificio n se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$q_n = C(D^2)\sqrt{2gh_n} \quad \text{Ec. (2.10)}$$

Donde:

q_n = caudal de descarga en el orificio n , L/s.

C = coeficiente de descarga del orificio (generalmente = 0.63 para orificios taladrados en tuberías de plásticos; [2].

D= diámetro del orificio, m.

g = aceleración debida a la gravedad, 9,81 m/s².

h_n= cabeza hidráulica en orificio n, m.

La cabeza hidráulica en orificio n es igual a:

$$h_n = \left[\frac{1}{(CD)^2 2g} \right] q^2 n = kq^2 n = k(mq_1)^2 = m^2 kq_1^2 = m^2 h_1 \quad \text{Ec. (2.11)}$$

Donde:

k= constante.

q₁= caudal de descarga en el primer orificio, m³/s.

q_n= caudal de descarga en el n-ésimo orificio, m³/s.

h₁= cabeza hidráulica en primer orificio, m.

m= constante con un valor decimal menor a 1.0

La diferencia entre la altura hidráulica del orificio 1 y el orificio n, la cual corresponde a las pérdidas en la tubería de distribución para una longitud comprendida entre el orificio 1 y el orificio n, se puede calcular por la Ec. (2.11).

$$\Delta h_{(1-n)} = h_{fdp} = h_1 - h_n \quad \text{Ec. (2.12)}$$

La diferencia de caudal que se presenta entre los orificios 1 y n, para una tubería y un tamaño de orificios dados se puede determinar utilizando las ecuaciones (2.9) a (2.12). Si el valor calculado de m es muy bajo se debe aumentar el diámetro de tubería de distribución. Cabe anotar la importancia de que los orificios se han perforados con un taladro prensa para obtener igual diámetro e igual distribución del caudal [2].

2.2.13 Ventajas y Desventajas

Algunas de las ventajas y desventajas de los filtros intermitentes de arena son las siguientes:

Ventajas:

- Producen un efluente de alta calidad que puede ser usado para irrigación por goteo, o puede ser descargado a aguas superficiales después de ser desinfectado.
- Los campos de drenaje pueden ser pequeños y poco profundos.
- Tienen requisitos moderados de energía.
- Son fácilmente accesibles para el monitoreo y no requieren personal calificado para su operación.
- No requieren compuestos químicos.
- Si la arena no está disponible, se puede reemplazar con otros medios de filtrado aceptables, los cuales pueden estar disponibles localmente.
- Los costos de construcción son moderadamente bajos, y el trabajo es casi todo manual.
- La capacidad de tratamiento puede aumentarse usando un diseño modular.
- Pueden ser instalados para que se incorporen visualmente al paisaje.

Desventajas:

- Los requisitos de área pueden ser una limitación.
- Se requiere un mantenimiento rutinario (si bien es mínimo).
- Se pueden presentar problemas de olores como resultado de las configuraciones de filtro abiertas, y se pueden requerir zonas de separación con áreas habitadas.

- Si un medio adecuado de filtración no está disponible localmente, los costos pueden ser altos.
- La obstrucción del medio filtrante es posible.
- La operación puede ser sensible a temperaturas extremadamente frías.

2.2.14 Filtros de Arena con Recirculación.

Un sistema de filtro de arena con recirculación comprende tres componentes principales: tanque séptico, tanque de recirculación y un lecho filtrante de medio granulares. El tratamiento de aguas residuales comienza en el tanque séptico. Allí, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) es reducida al más de 45% del desecho residual. El efluente tratado en el filtro se conduce hasta el tanque de recirculación, donde se mezcla con el efluente del tanque de séptico. Una bomba controlada por un temporizador en el tanque de recirculación dosifica el efluente a un sistema de distribución sobre el lecho filtrante. Cada vez que el lecho es dosificado, el efluente que es filtrado por el medio es tratado por los microorganismos que habitan en el filtro. El efluente tratado es recolectado en un tubo de drenaje, ubicado en el fondo del filtro y regresa al tanque de recirculación.

Dependiendo del nivel del líquido en el tanque de recirculación, una parte del flujo es dividida por un dispositivo que devuelve todo el flujo al tanque de recirculación o divide el flujo de modo que una parte del efluente sea desviada para una disposición final y el resto sea devuelto al tanque de recirculación. Típicamente el efluente es recirculado cuatro veces antes de la disposición final.



Fig. 9. Sistema de un filtro de arena con recirculación. Fuente: Orenco Systems, Inc. 1998.

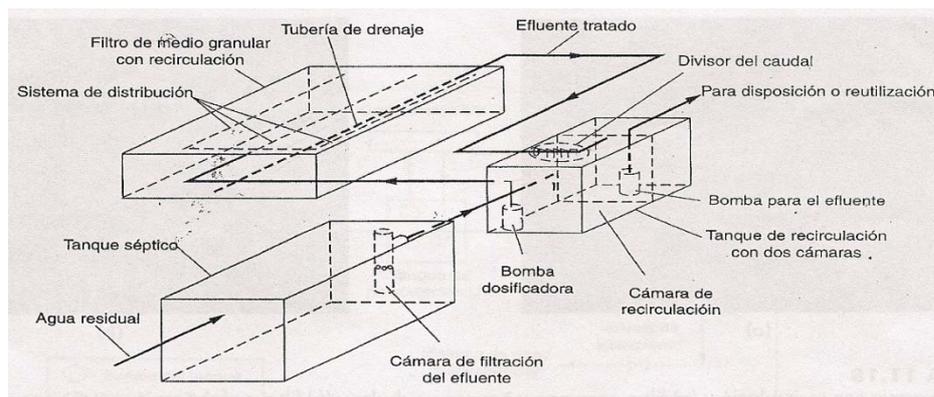


Fig. 10. Diagrama de un filtro de medio granular con recirculación. Fuente: [5]

2.2.14.1 Pretratamiento.

Es fundamental que las aguas residuales que entran al tanque de recirculación deban estar sin sólidos gruesos. El tanque séptico proporciona un tratamiento primario que permite un tiempo de detención suficiente para la sedimentación y un volumen apto para la digestión, y la acumulación de sólidos por largos períodos de tiempo son reservados para casos de emergencia. [2]. Escuelas, restaurantes, y otros

establecimientos donde son procesados alimentos es necesario un pretratamiento adicional al tanque séptico.

2.2.14.2 Componentes de un filtro de arena con recirculación.

Tanque de recirculación: El tanque de recirculación, con equipamiento de bomba para dosificar el filtro, recibe tanto efluente del tanque séptico como el flujo de regresa del filtro. El tanque de recirculación normalmente su tamaño es igual a la capacidad del volumen del flujo de aguas residuales generado diariamente.

Para facilitar la dilución del efluente del tanque séptico con el efluente de un filtro aeróbico, ambos deben entrar cerca del mismo lugar al tanque de recirculación. El equipo de bombeo es instalado en la parte opuesta.

Equipo de bombeo: Dos métodos comúnmente son usados para la configuración y tamaño del equipo de bombeo. Los sistemas de filtros de arena con recirculación en comunidades pequeñas, usan bombas grandes con sistemas de distribución a presión sobre el filtro; este diseño es comúnmente usado. Las bombas son por lo general de hierro fundido y muy pesadas, requiriendo mecanismos externos para su levantamiento. Diseños más recientes e innovadores especifican que los números más grandes de caballo de fuerza bombean bien.

Controles: Para descargar el efluente periódicamente del tanque de recirculación al filtro, los tiempos de ciclos de la bomba son controlados por un temporizador programable. Un censor de corriente, predeterminado para sentir una corriente extraña, supervisa el trazado de circuito de bomba y aparece una alarma para notificar el personal de mantenimiento si una bomba falla. Los controles son almacenados en un espacio de prueba de corrosión. Como las temperaturas muy calientes o

muy frías pueden afectar el funcionamiento de los componentes eléctricos, las precauciones deberían ser tomadas para proteger los controles de condiciones extremas meteorológicas. [4].

Divisor del caudal: Tres métodos comúnmente son usados para dividir el flujo de efluente después del filtro. La válvula de bola del flotador ilustrada en la Fig. 11, fue diseñada para sistemas de filtros de arena con recirculación y aún son usadas hoy en día. Esta válvula dirige todo el efluente del filtro para una disposición final o regresa todo el flujo al tanque de recirculación. La desventaja consiste en que, durante los períodos de flujo máximo, la válvula de bola del flotador permite dar una vuelta corta: el efluente entra en el tanque de recirculación, pasa por el filtro una vez y fluye directamente a la disposición final.

Tanque de repartición: Este regresa un porcentaje predeterminado del flujo (típicamente el 80%) al tanque de recirculación y desvía el caudal para una disposición final. Cuando un nivel bajo del líquido en el tanque de recirculación es alcanzado, eléctricamente una válvula se activa sobre la línea de disposición final del efluente y todo el flujo es dirigido al tanque de recirculación. (Fig. 12).

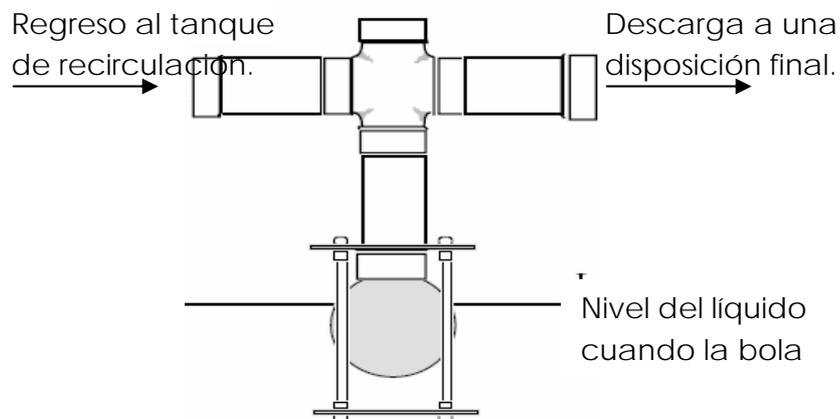


Fig. 11. Válvula de bola del flotador. Fuente: [13]

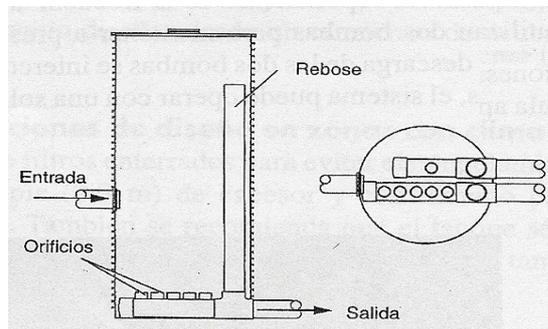


Fig. 12. Tanque de repartición. Fuente: [5]

Filtros: Como se muestra en la Fig. 13, un colector de desagüe, ranurado o perforado, es localizado la parte inferior del filtro. Se ha demostrado que el colector de desagüe debe ser bastante grande para distribuir el flujo suministrado por la bomba.

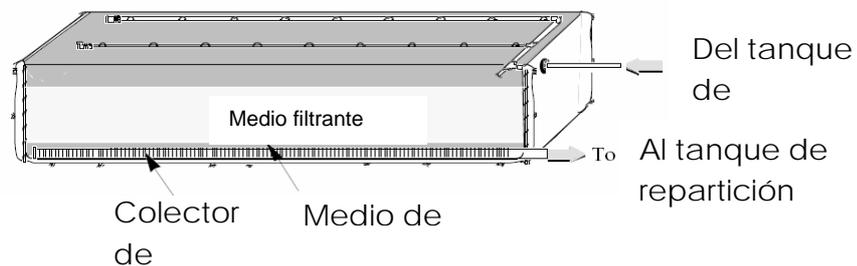


Fig. 13. Disposición de un filtro de arena con recirculación. Fuente: [13]

2.2.14.3 Desempeño del tratamiento.

La remoción de DBO en los filtros con recirculación depende de la carga aplicada y del tamaño de las partículas del medio filtrante. Los filtros con recirculación pueden producir un efluente con menos de 10 mg/L de DBO y SST, cuando se opera con cargas menores a 200 mm/d y el tamaño medio de partícula es de 3 mm o menos. Los filtros con recirculación pueden producir un efluente de alta calidad, parcialmente nitrificado. [5].

Los procesos de nitrificación y desnitrificación son los mecanismos de remoción de nitrógeno que predominan en los filtros con recirculación. Es posible alcanzar un aumento en la remoción de nitrógeno al utilizar drenajes inundados que incrementan la desnitrificación, seguidos de un filtro anaerobio, o la adición de una fuente de carbono. [5].

2.2.14.4 Consideraciones de diseño.

Entre los factores importantes en el diseño de filtros con recirculación están: el tipo y tamaño de partícula del medio filtrante, la profundidad del lecho del filtro, la tasa de carga hidráulica, la tasa de carga orgánica, el número de dosis y el caudal por dosis y un diseño modular; los cuales serán examinados a continuación. En la tabla 2.7 se presentan algunos criterios de diseño para filtros con recirculación.

Tabla 2.7. Criterios de diseño para filtros con recirculación.

Elemento	Unidad	Intervalo	Valor usual
Pretratamiento		Mínimo; tanque séptico o equivalente	
Medio filtrante			
Material		Medio granular lavado y durable	
Tamaño efectivo	mm	1 – 5	2.5
Coefficiente de uniformidad		< 2.5	2.0
Profundidad	mm	450 – 900	600
Sistema de drenaje			
Clase		Tubería con ranuras o perforaciones	
Pendiente	%	0 - 0.1	0
Tamaño	mm	75 – 100	100
Presión de distribución			
Tamaño de la tubería	mm	25 – 50	38
Tamaño del orificio	mm	3 – 6	3
Altura hidráulica en el orificio	m	1 – 2	1.6
Distancia entre tuberías	m	0.5 - 1.2	0.6
Distancia entre orificios	m	0.5 – 1.2	0.6
Parámetros de diseño			
Carga hidráulica *	L/m ² .d	120 – 200	160
Carga orgánica	Kg DBO/m ² .d	0.01 – 0.04	< 0.025
Relación de recirculación		3:1 – 5:1	4:1
Dosificación			
Frecuencia	veces/días	48 – 120	
Caudal / orificio	L/orif.dosis	3.8 – 11.4	7.6
Volumen del tanque dosificación	Caudal/día	0.5 – 1.5	1.0

*Con base en el caudal pico. Fuente: [5]

2.2.14.4.1 Tipo y tamaño de medios filtrantes.

Los tipos de medios filtrantes que se utilizan en los filtros con recirculación van desde arenas gruesas hasta gravas finas, pasando por cenizas de horno. El tamaño más fino reportado corresponde a una arena con diámetro efectivo de 0.3 mm, la cual presentó una rápida colmatación y carreras de filtración cortas; estos resultados condujeron a los investigadores a recomendar un tamaño de partícula mayor (0.6 mm), cenizas de horno tamizadas se han utilizado con tamaños que varían entre 0.9 y 2.4 mm, en cuanto a gravas, se han empleado tamaños medianos que van desde 1 hasta 6 mm y tamaños finos de 2.5 mm. se ha observado que el uso de tamaños de grava superiores a 3 mm, disminuye drásticamente la remoción de nitrógeno. [3].

2.2.14.4.2 Profundidad del lecho filtrante.

Los filtros de lecho empacado con recirculación emplean lechos con profundidades que van desde 600 hasta 1200 mm, aunque anteriormente se utilizaban lechos más profundos; no se recomienda la utilización de lechos con menos de 600 mm de espesor, siendo este el valor más común. [5].

2.2.14.4.3 Tasa de carga hidráulica.

La tasa de carga hidráulica con base en el caudal pico de diseño oscila entre 120 y 200 L/m²·d dependiendo del tamaño del medio filtrante. El valor más común de tasa de carga hidráulica para filtros con recirculación usados en el tratamiento de efluentes de tanque séptico es de 160 L/m²·d, con base en un caudal pico controlado en el tanque séptico. [5].

2.2.14.4.4 Tasa de carga orgánica.

Al igual que los filtros intermitentes, la tasa de carga orgánica comprende la materia orgánica soluble y particulada que se aplica al filtro

por unidad de área. Aunque no estén establecidos valores de tasa de carga orgánica para los filtros de medio granular con recirculación, los valores más usuales van de 0.01 a 0.04 Kg DBO/m²d, valores mayores de tasa orgánica se pueden utilizar, realizando variaciones en la dosificación. [5].

2.2.14.4.5 Relación de recirculación.

Los valores de recirculación están en general entre 4:1 y 5:1. La dosificación ajustada con temporizador establece una duración en la aplicación del caudal que va de 1 a 5 min, e intervalos entre dosis que oscilan entre 12 y 25 min. Para aguas residuales con concentraciones altas, se pueden manejar dosis de 2 min de duración cada 6 min.

2.2.16.4.6 División de caudal.

Dado que gran parte del caudal que pasa a través del filtro se lleva al tanque de recirculación para ser mezclado con agua residual proveniente del tanque séptico, se debe disponer de algún mecanismo para dividir el caudal. Existen varios mecanismos para realizar la división del caudal. Como se observa en las Figs. 10, 11 y 12, existen varios mecanismos para realizar la división del caudal, entre otros: 1) un tanque divisor, 2) una válvula con orificio de recirculación acoplado a un flotador de bola, y 3) la utilización de un tabique divisor de caudal en el filtro [3]. Aunque la válvula con flotador de bola se utilizó en los primeros diseños, no se recomienda continuar con su uso porque cuando el tanque de recirculación está lleno, una fracción del líquido proveniente del tanque séptico puede pasar a través del filtro sólo una vez antes de ser descargado.

Los sistemas que tienen un tanque para la repartición de caudales, cuentan en el tanque de recirculación con un flotador acoplado a un sistema eléctrico que acciona una válvula para realizar el vertido del

efluente tratado; una vez culminada la descarga, todo el caudal proveniente del filtro se recircula al tanque.

La válvula con orificio de recirculación y flotador de bola combina las ventajas de la válvula de flotador de bola sencilla y el tanque de repartición de caudales, sin recurrir a controles eléctricos. Cuando existe poco caudal, todo el efluente del filtro se recircula al tanque; cuando el tanque se llena, una pequeña fracción del caudal de recirculación se evacua del sistema mediante el último orificio [3].

2.2.14.4.7 Distribución de la dosis.

Cuando el caudal aumenta y se requieren más laterales de distribución y más orificios de descarga, puede que una sola bomba no sea suficiente para manejar el caudal de descarga en los orificios. Cuando esto ocurre, el área del filtro se puede dividir en varias secciones, y con la ayuda de una válvula mecánica de distribución, se puede realizar una dosificación secuencial en cada una de las secciones establecidas en el filtro, ver Fig. 14.

Por lo general, una sola bomba puede mantener la presión hasta seis secciones separadas, dependiendo de la frecuencia de aplicación [3]. En algunos diseños se utilizan dos bombas para mantener una o dos secciones. Cuando se usan dos bombas, la tubería de descarga de las dos bombas se interconecta con una válvula apropiada. Con las secciones interconectadas, el sistema puede operar con una sola bomba hasta que se repare la que falló.



Fig. 14. Válvula de distribución mecánica utilizada para alimentar diferentes secciones del filtro de lecho empacado. Fuente: [13]

2.2.14.4.8 Diseño modular.

Cuando se piensa en futuras ampliaciones del sistema de tratamiento con filtros, como consecuencia del aumento en el caudal a tratar, se puede recurrir a un diseño modular. En un arreglo típico, las unidades adicionales de filtración se deben incorporar al sistema por etapas. Las bombas que se requieren para manejar el caudal adicional, se deben ubicar en el tanque de recirculación, el cual es necesario diseñar desde un comienzo de acuerdo con la capacidad futura del sistema, ver Fig. 15.

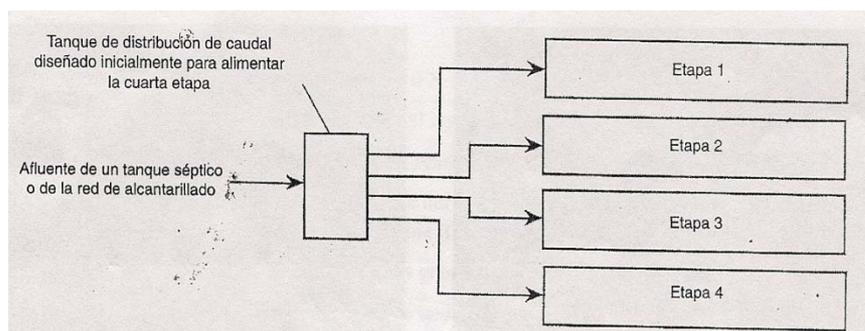


Fig. 15. Diagrama de un diseño modular para un sistema de filtros. Fuente: [5]

2.2.14.4.9 Consideraciones de diseño en zonas con clima frío.

En zonas con climas fríos se requiere la construcción de filtros enterrados para evitar el congelamiento del agua. Se sugiere emplear una capa de piedra de 0.3 m de espesor y con tamaño promedio de 25 mm, para cubrir la tubería de distribución. También se recomienda que el tanque séptico y el tanque de recirculación se aíslen, utilizando para ello un medio grueso ($d_{10} = 2$ a 2.5 mm, tamaño máximo de 5 mm, y $CU < 2$). [5].

CAPITULO III.

METODOLOGÍA

3.1 PROCEDIMIENTOS.

En la metodología para el dimensionamiento de filtros de arena para el tratamiento de efluentes provenientes de tanques sépticos, se llevaron a cabo las siguientes etapas o fases para el cumplimiento de los objetivos de este proyecto.

- A. Se realizaron consultas de bibliografías, revistas científicas, tesis, paginas webs, entre otros; para obtener toda la información necesaria sobre el proceso de filtros de arena, así como normas que se emplean para su dimensionamiento.
- B. Se describieron las funciones y características del proceso de filtro de arena para el tratamiento de aguas residuales.
- C. Con la información obtenida de la etapa anterior, se evaluaron los métodos existentes para el dimensionamiento de este proceso de tratamiento. De acuerdo a todos los datos y cálculos obtenidos, se realizó un diagrama de flujo y una hoja de cálculo en formato Excel.
- D. Como etapa final se realizará la discusión de los resultados, para posteriormente elaborar las conclusiones y recomendaciones finales para la culminación de este proyecto.

3.2 EJEMPLOS DE CÁLCULO.

A continuación se presentan ejemplos de cálculos utilizando el método encontrado para el análisis y dimensionamiento de los filtros de arena para el tratamiento de efluentes provenientes de tanques sépticos.

3.2.1 Filtro Intermitente de Arena.

Método: Según referencia [5]

Dimensionar un filtro de intermitente de arena y su sistema de distribución para una vivienda con una habitación, ubicado en una zona sin alcantarillado. Determinar la tasa de carga orgánica, el caudal a tratar, la duración de cada dosis y el caudal de descarga por orificio. Si la diferencia de caudal entre los orificios es superior a 5% $[(1-m)*100]$, se debe redimensionar la tubería de distribución. El tanque séptico tiene una capacidad igual a 2.5 veces el caudal promedio; estimar la altura dinámica total. Supóngase las siguientes consideraciones:

1. Ocupación promedio = 2 personas/día
2. Caudal promedio de agua residual = 250 L/hab-d
3. Factor pico = 2.5 (ver sección 2.2.9.3)
4. DBO en el efluente del tanque séptico = 130 mg/L
5. SST en el efluente del tanque séptico = 30 mg/L
6. Tasa hidráulica de aplicación = 51 L/m²·d con base en el caudal pico de diseño (ver sección 2.2.9.3)
7. Tasa de dosificación del filtro de arena por día = 24 dosis/d
8. Diámetro de los orificios en la tubería de distribución = 3.2 mm
9. Altura hidráulica en los orificios = 1.5 m
10. Distancia entre el tanque séptico y el filtro = 18 m
11. Diferencia de alturas entre el tanque séptico y el filtro = 3 m

Solución:

1. Se determina el tamaño del filtro de arena.

a. Se determina el caudal promedio y el caudal pico:

$$Q_{promedio} = 2 \text{ personas} \times 250 \text{ L / hab} \cdot d = 500 \text{ L / d}$$

$$Q_{pico} = 500 \text{ L / d} \times 2.5 = 1250 \text{ L / d}$$

b. Se determina el área del filtro:

Como la tasa hidráulica de aplicación es en base al caudal pico de diseño, se puede hallar el área del filtro, mediante la relación:

$$THA = \frac{L}{m^2 \cdot d} = \frac{Q}{A}$$

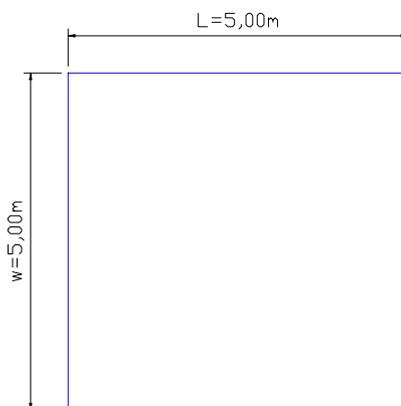
$$\text{Despejando: } A = \frac{Q}{THA} = \frac{1250 \text{ L / d}}{51 \text{ L / m}^2 d} = 24,51 \text{ m}^2$$

c. De acuerdo al área obtenida se puede hallar las dimensiones del filtro, siendo:

$$w = \sqrt{24,51 \text{ m}^2} = 4,96 \cong 5 \text{ m}$$

$$A = L \times w$$

$$L = \frac{24,51 \text{ m}^2}{5 \text{ m}} = 4,90 \cong 5 \text{ m}$$



2. Se determina la tasa de carga orgánica.

Como la tasa de carga orgánica está compuesta por la materia orgánica soluble y particulada aplicada al filtro por unidad de área y se expresa en Kg/m²d de DBO (ver sección 2.2.9.4), entonces se obtiene que:

$$C_{org} = \frac{kg}{m^2 \cdot d} = THA \times DBO_{efluente_{TS}}$$
$$C_{org} = 51L / m^2 d \times 130mg / L \times \frac{1Kg}{10^6 mg} = 0,00663 \text{ KgDBO} / m^2 d$$

3. Se ubica la red de distribución en la superficie del filtro y se utiliza un espaciamiento entre tuberías laterales y orificios de 0,45 m, con una distancia entre la tubería y el muro de 0,30 m.

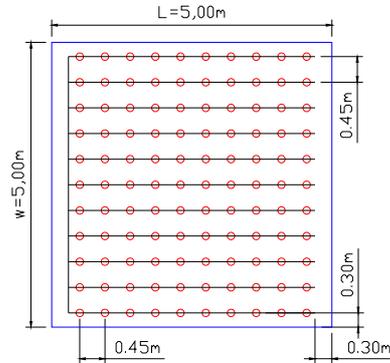
- a. Se determina el número de tuberías laterales guardando un espaciamiento de 0,45 m.

$$\text{Número de tuberías laterales} = \frac{5 - 2 \times 0,30}{0,45} + 1 = 10,77 \cong 11 \text{ tuberías laterales.}$$

- b. Se determina el número de orificios guardando un espaciamiento de 0,45 m.

$$\text{Número de orificios} = \frac{5 - 0,45}{0,45} = 10,11 \cong 10 \text{ orificios/tub. laterales}$$

- c. La ubicación de la red de distribución se puede apreciar en el siguiente dibujo.



4. Se determina el caudal por dosis y el caudal por cada tubería lateral.

a. Se determina la cantidad de caudal por dosis:

$$\text{Caudal} / \text{dosis} = \frac{500L / d}{24\text{dosis} / d} = 20,83 \text{ L} / \text{dosis}$$

b. Se determina la cantidad de caudal descargado por cada tubería por dosis:

$$\text{Caudal} / \text{tub.lateral} = \frac{20,83 \text{ L} / \text{dosis}}{11 \text{ tub.laterales}} = 1,89 \text{ L} / \text{tub.lateral} \cdot \text{dosis}$$

5. Se determina el caudal de descarga por orificio, aplicando la Ec. 2.10:

$$q_n = 0,63 \times (0,0032\text{m})^2 \times \sqrt{2 \times 9,81\text{m} / \text{s} \times 1,5\text{m}} = 3,50 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$q_n = 3,50 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s} \times \frac{1000\text{L}}{1\text{m}^3} = 0,035 \text{ L} / \text{s} \cdot \text{orificio}$$

6. Se determina la duración del caudal y el volumen del caudal descargado por orificio:

a. El caudal total en cada tubería lateral, con base en 10 orificios por tubería lateral es:

$$Caudal / tub.lateral = 0,035 L / s \cdot orificio \times 10 \text{ orificio} / tub.laterales$$

$$Caudal / tub.lateral = 0,35 \text{ L} / s \cdot tub.lateral$$

Entonces el caudal total es:

$$Q_T = 0,35 L / s \cdot tub.lateral \times 11 \text{ tub.laterales} = 3,85 \text{ L} / s$$

b. Se determina la duración de cada dosis:

Como se calculó la cantidad de caudal por dosis y el caudal total del filtro, se puede hallar el tiempo de duración del caudal por cada dosis:

$$duración = \frac{20,83 L / dosis}{3,85 L / s} = 5,41 s$$

c. Se determina el volumen de descarga por orificio y por dosis:

Mediante la cantidad de caudal descargado por cada tubería por dosis entre el número de orificios de cada tubería, se puede obtener el volumen de descarga de cada orificio por dosis:

$$volumen / dosis = \frac{1,89 L / cada tubería \cdot dosis}{10 \text{ orificios} / tub.lateral} = 0,19 \text{ L} / \text{orificio} \cdot \text{dosis}$$

0,19 < 0.9 (ver tabla 2.2)

De acuerdo a la tabla 2.2 el volumen/orificio el intervalo varía entre 0.6 y 1.1, siendo el valor usual de 0,9: como no cumple se asume el valor usual.

7. Se determinan las pérdidas en la tubería de distribución lateral.

Para obtener las pérdidas de carga, se asume un diámetro nominal de la tubería.

Nota: En los sistemas que poseen controladores de nivel para accionar las bombas, los caudales pico afectarán únicamente un tramo con tiempo de transporte igual al tiempo en que esté funcionando la bomba. Si la operación de la bomba se controla mediante un temporizador programable, el aumento en el caudal se controlará (como se analizó anteriormente) de la forma tal que: se almacena el exceso en el tanque séptico y realizaran aplicaciones de caudal más o menos iguales en el transcurso del día.

Asumiendo un diámetro nominal de 32 mm para una tubería de plástico de diámetro interno de 27,2 mm. (ver anexo A).

a. Las pérdidas de carga en una tubería sin orificios se determinan mediante la ecuación 2.8.

$$h_{fp} = 10,674 \times 5.5 \left(\frac{0,00035}{150} \right)^{1,852} \times 0,0272^{-4,871} = 0,092m$$

Las pérdidas menores se pueden calcular según las fórmulas hidráulicas que se establecen, según el tipo de pieza considerada o por el

método de longitud equivalente. Los valores correspondientes a las longitudes equivalentes se encuentran en la tabla A.1 del anexo A. Las pérdidas de carga calculadas se debe incrementar un 10% por tratarse de aguas negras.

- b. Las pérdidas de carga en una tubería lateral con orificios, utilizando la ecuación 2.9, serán:

$$h_{fdp} = \frac{1}{3} 0,092m = 0,03m$$

8. Se determina la diferencia entre el caudal de descarga del primer orificio y el último en cada tubería lateral.

Siendo, $\Delta h_{(1-n)} = h_{fdp}$ (ver Ec. 2.12), se puede determinar:

- a. La altura hidráulica en el primer orificio usando la ecuación 2.12 y despejando h_1 :

$$h_1 = 1,5 + 0,03 = 1,53 \text{ m}$$

- b. Se determina el valor de m mediante la ecuación 2.11.

$$m = \sqrt{\frac{1,5}{1,53}} = 0,99$$

- c. Con el valor obtenido, se chequea la diferencia entre el caudal de descarga del primer orificio y el último en cada tubería lateral mediante la relación dada en el ejemplo.

$$[(1 - 0,99) \times 100] = 1\% < 5\%$$

La diferencia entre el caudal de descarga del primer orificio y el último en cada tubería lateral cumple, debido a que el porcentaje obtenido es menor que el estipulado previamente (5%). En caso de que la diferencia supere los 5%, se debe cambiar el diámetro de la tubería asumido, iterando hasta que cumpla.

9. Se calcula la altura dinámica total.

Se asume un diámetro nominal para una tubería de plástico de 50 mm y diámetro interior de 43,2 mm, que comunica el tanque séptico con las tuberías laterales del filtro y se calculan las pérdidas de carga.

- a. Se determinan las pérdidas de carga en la tubería de conducción desde el tanque séptico hasta el filtro, usando la ecuación 2.8.

$$h_{fp} = 10,674 \times 18 \times \left(\frac{0,00385}{150} \right)^{1,852} \times 0,0432^{-4,871} = 2,68 \text{ m}$$

- b. Se determinan las pérdidas de carga en la tubería utilizada para alimentar las tuberías laterales:

Se tiene que;

Longitud de la tubería de alimentación = 4,40 m

Caudal de la tubería de alimentación = 3,85 L/s

- b.1. Pérdidas de carga en la tubería de alimentación sin conexiones laterales, ecuación 2.8:

$$h_{fp} = 10,674 \times 4,40 \times \left(\frac{0,00385}{150} \right)^{1,852} \times 0,0432^{-4,871} = 0,66 \text{ m}$$

b.2. Pérdidas de carga en la tubería de alimentación con conexiones laterales:

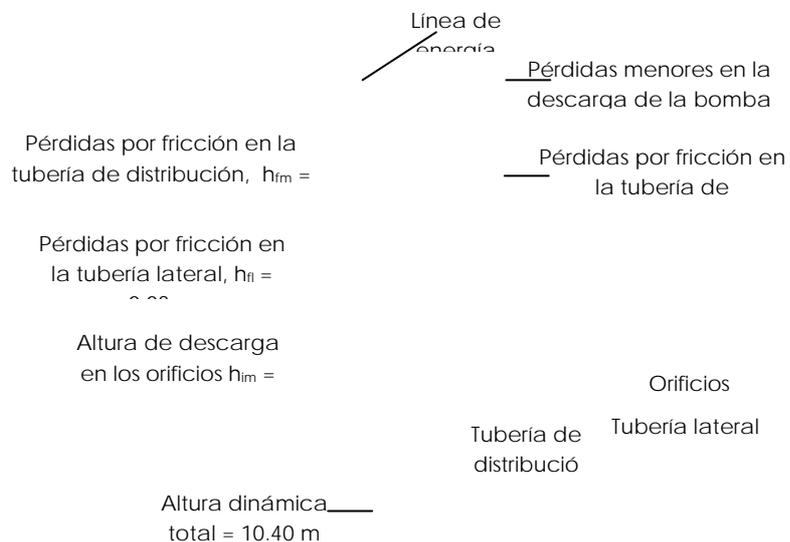
$$h_{fdp} = \frac{1}{3} 0,66m = 0,22 \text{ m}$$

c. Altura dinámica total:

Se calcula sumando todas las pérdidas de cargas obtenidas anteriormente, se asume las pérdidas por accesorios y válvulas, 0.3 y 1.5 respectivamente. A continuación se resumen los resultados para el cálculo de la altura dinámica total.

Tabla 3.1. Cálculo de la altura dinámica total.

Perdidas de carga en la tubería	m
Pérdidas por fricción en la tubería desde el tanque séptico	3.76
Pérdidas en la caja de válvulas	1.50
Pérdidas en los accesorios	0.30
Pérdidas por fricción en la tubería de alimentación	0.31
Pérdidas por fricción en las tuberías laterales	0.03
Altura hidráulica en los orificios	1.5
Diferencia de alturas entre el nivel del líquido en la cámara de bombeo y la tubería de alimentación	3
Altura dinámica total	= 10.40



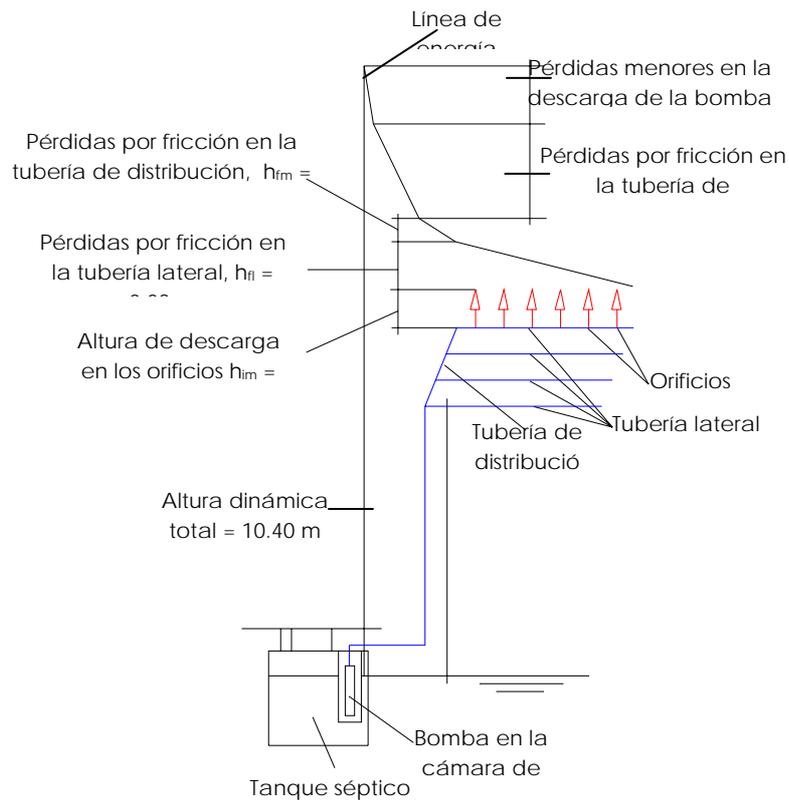


Fig. 16. Representación gráfica del cálculo de la altura dinámica total.
Fuente: Autoras, (2010)

3.2.2 Filtro de Arena con Recirculación

Método: Según referencia [5].

Dimensionar un filtro de grava con recirculación y su sistema de distribución para una vivienda con una habitación en una zona sin alcantarillado. Revisar la tasa orgánica y determinar el volumen total del caudal en cada dosis, el caudal total, el caudal de descarga en los orificios, y los tiempos para el ciclo de aplicación y reposo. El tanque de recirculación tiene una capacidad de igual a 2.5 veces el caudal promedio. Supóngase las siguientes consideraciones:

1. Ocupación promedio = 2 personas/día.
2. Caudal promedio de agua residual = 250 L/hab·d
3. Factor pico = 2.5 (ver sección 2.2.9.3)
4. DBO en el efluente del tanque séptico = 130 mg/L
5. SST en el efluente del tanque séptico = 30 mg/L
6. Tasa hidráulica de aplicación = 200 L/m²·d con base en el caudal pico afluente. (ver sección 2.2.16.4.3)
7. Tamaño del tanque de recirculación = 3000 L.
8. Tamaño de la cámara de bombeo = 1500 L.
9. Diferencia de alturas entre el nivel del líquido en la cámara de bombeo y la tubería de alimentación = 3 m.
10. Distancia desde el tanque séptico hasta el tanque de recirculación = 18 m
11. Distancia desde el tanque de recirculación hasta el filtro = 18 m
12. Tasa de dosificación del filtro de arena por día = 48 dosis/d.
13. Diámetro de los orificios en la tubería de distribución = 3.2 mm
14. Altura hidráulica en los orificios = 1.5 m.
15. Relación de recirculación = 4:1.

Solución:

1. Se determina el tamaño del filtro.

- a. Se determina el caudal promedio y el caudal pico.

$$Q_{promedio} = 2 \text{ personas} \times 250 \text{ L / hab} \cdot d = 500 \text{ L / d}$$

$$Q_{pico} = 500 \text{ L / d} \times 2.5 = 1250 \text{ L / d}$$

- b. Se determina el área requerida del filtro de arena.

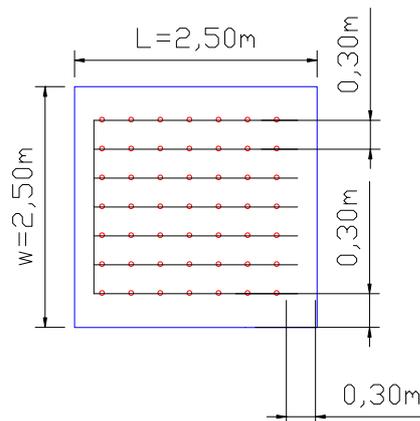
Como la tasa hidráulica de aplicación es en base al caudal pico afluente, se puede hallar el área del filtro, mediante la relación:

$$THA = \frac{L}{m^2 \cdot s} = \frac{Q}{A}$$

Despejando, $A = \frac{Q}{THA} = \frac{1250L/d}{200L/m^2d} = 6,25m^2$

c. Se utiliza un filtro de 2.5m x 2.5m.

Revise el área: $(2.5 \times 2.5) = 6,25 m^2$.



2. Se determina la tasa de carga orgánica.

Como la tasa de carga orgánica se expresa en Kg/m²d de DBO₅ o DQO, entonces se obtiene que:

$$C_{org} = \frac{kgDBO}{m^2 \cdot d} = THA \times DBO_{efluenteTS}$$

$$C_{org} = 200L/m^2d \times 130mg/L \times \frac{1Kg}{10^6 mg} = 0,026 KgDBO/m^2d$$

3. Se ubica la red de distribución en la superficie del filtro. Se utiliza un espaciamiento entre tuberías laterales, orificios y entre la tubería del muro de 0,30 m.

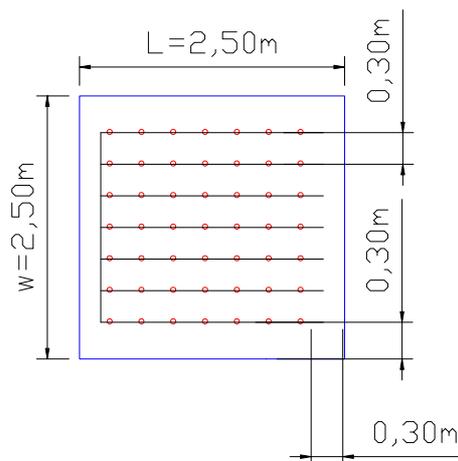
a. Se determina el número de tuberías laterales guardando un espaciamiento de 0,30 m.

$$\text{Número de tuberías laterales} = \frac{2,5 - 2 \times 0,30}{0,30} + 1 = 7,33 \cong 7 \text{ tuberías laterales.}$$

b. Se determina el número de orificios guardando un espaciamiento de 0,30.

$$\text{Número de orificios} = \frac{2,5 - 0,30}{0,30} = 7,33 \cong 7 \text{ orificios/tub laterales.}$$

c. La ubicación de la red de distribución se puede apreciar en el siguiente dibujo.



4. Se determina el caudal por dosis y el caudal por cada tubería lateral.

a. Se determina la cantidad de caudal por dosis:

$$\text{Caudal/dosis} = \frac{500L/d}{48\text{dosis}/d} = 10,42 \text{ L/dosis}$$

b. Se determina la cantidad de caudal descargado por cada tubería lateral:

$$\text{Caudal/tub lateral} = \frac{10,42 \text{ L/dosis}}{7\text{tub/lateral}} = 1,49 \text{ L/tub.lateral} \cdot \text{dosis}$$

5. Se determina el caudal de descarga por orificio, aplicando la Ec. 2.10:

$$q_n = 0,63 \times (0,0032m)^2 \times \sqrt{2 \times 9,81m/s \times 1,5m} = 3,50 \times 10^{-5} m^3 / s$$

$$q_n = 3,50 \times 10^{-5} m^3 / s \times \frac{1000L}{1m^3} = 0,035L / s \cdot \text{orificio}$$

6. Se determina la duración del caudal aplicado y el volumen del caudal descargado a un caudal promedio.

a. El caudal total en cada tubería lateral, con base en 7 orificios por tubería lateral es:

$$\text{Caudal/tub.lateral} = 0,035 \text{ L/s} \cdot \text{orificio} \times 7\text{orificio/tub.lateral}$$

$$\text{Caudal / tub.lateral} = 0,25 \text{ L/tub.lateral}$$

Entonces,

$$Q_T = 0,25 \text{ L/s} \cdot \text{tub.lateral} \times 7\text{tub.laterales} = 1,72 \text{ L/s}$$

b. Se determina la duración de cada dosis.

$$duración = \frac{10,42L / dosis}{1,72L / s} = 6,06 \text{ s} / dosis = 0,10 \text{ min}$$

c. Se determina el volumen de descarga por orificio y por dosis:

$$Volumen / dosis = \frac{1,49L / cadatubería \cdot dosis}{7 \text{ orificios} / tub.lateral} = 0,21 \text{ L} / \text{orificio} \cdot \text{dosis}$$

De acuerdo a la tabla 2.8 el caudal/orificio el intervalo varía entre 3.8 y 11.14, siendo el valor usual de 7.6; como no cumple se asume el valor usual.

7. Se determinan los tiempos para el ciclo de aplicación y reposo a un caudal promedio:

Tiempo de aplicación = 6,06 s

$$\text{Tiempo de reposo} = \left(\frac{1440 \text{ min} / d}{48 \text{ dosis} / d} - 0.10 \text{ min} / \text{dosis} \right) = 29,9 \text{ min}$$

8. Se determinan las pérdidas en la tubería de distribución lateral.

Para obtener las pérdidas de carga, se asume un diámetro nominal de la tubería. Asumiendo un diámetro nominal de 32 mm para una tubería de plástico de diámetro interno de 27,2 mm. (ver anexo A).

- a. Las pérdidas de carga en una tubería sin orificios se determinan mediante la ecuación 2.8.

$$h_{fp} = 10,674 \times 2,75 \left(\frac{0,00025}{150} \right)^{1,852} \times 0,0272^{-4,871} = 0,025 \text{ m}$$

Las pérdidas menores se pueden calcular según las fórmulas hidráulicas que se establecen, según el tipo de pieza considerada o por el método de longitud equivalente. Los valores correspondientes a las longitudes equivalentes se encuentran en la tabla A.1 del anexo A. Las pérdidas de carga calculadas se debe incrementar un 10% por tratarse de aguas negras.

- b. Las pérdidas de carga en una tubería lateral con orificios, utilizando la ecuación 2.9, serán:

$$h_{fdp} = \frac{1}{3} 0,025m = 0,01 \text{ m}$$

9. Se determina la diferencia entre el caudal de descarga del primer orificio y el último en cada tubería lateral.

Siendo, $\Delta h_{(1-n)} = h_{fdp}$ (ver Ec. 2.12), se puede determinar:

- a. La altura hidráulica en el primer orificio usando la ecuación 2.12 y despejando h_1 :

$$h_1 = 1,5 + 0,01 = 1,51 \text{ m}$$

- b. Se determina el valor de m mediante la ecuación 2.11.

$$m = \sqrt{\frac{1,5}{1,51}} = 0,99$$

- c. Con el valor obtenido, se chequea la diferencia entre el caudal de descarga del primer orificio y el último en cada tubería lateral mediante la relación dada en el ejemplo.

$$[(1 - 0,99) \times 100] = 1\% < 5\%$$

La diferencia entre el caudal de descarga del primer orificio y el último en cada tubería lateral cumple, debido a que el porcentaje obtenido es menor que el estipulado previamente (5%). En caso de que la diferencia supere los 5%, se debe cambiar el diámetro de la tubería asumido, iterando hasta que cumpla.

10. Se calcula la altura dinámica total.

Se asume un diámetro nominal para una tubería de plástico de 50 mm y diámetro interior de 43,2 mm, que comunica el tanque séptico con las tuberías laterales del filtro y se calculan las pérdidas de carga.

- a. Se determinan las pérdidas de carga en la tubería de conducción desde el tanque séptico hasta el tanque de recirculación, usando la ecuación 2.8. Se estimó una distancia igual de 18 m desde el tanque de recirculación hasta el filtro, siendo así las mismas pérdidas.

$$h_{fp} = 10,674 \times 18 \times \left(\frac{0,00172}{150} \right)^{1,852} \times 0,0432^{-4,871} = 0,60 \text{ m}$$

- b. Se determinan las pérdidas de carga en la tubería utilizada para alimentar las tuberías laterales:

Se tiene que:

Longitud de la tubería de alimentación = 1,90 m

Caudal de la tubería de alimentación = 1,72 L/s

- b.1. Pérdidas de carga en la tubería de alimentación sin conexiones laterales, ecuación 2.8:

$$h_{fp} = 10,674 \times 1,90 \times \left(\frac{0,00172}{150} \right)^{1,852} \times 0,0432^{-4,871} = 0,06 \text{ m}$$

- b.2. Pérdidas de carga en la tubería de alimentación con conexiones laterales:

$$h_{fdp} = \frac{1}{3} 0,06 \text{ m} = 0,02 \text{ m}$$

11. Altura dinámica total:

Se calcula sumando todas las pérdidas de cargas obtenidas anteriormente, se asume las pérdidas por accesorios y válvulas, 0.3 y 1.5 respectivamente. A continuación se resumen los resultados para el cálculo de la altura dinámica total.

Tabla 3.2. Cálculo de la altura dinámica total.

Perdidas de carga en la tubería	m
Pérdidas por fricción en la tubería desde el tanque séptico	1.20
Pérdidas en la caja de válvulas	1.50
Pérdidas en los accesorios	0.30
Pérdidas por fricción en la tubería de alimentación	0.02
Pérdidas por fricción en las tuberías laterales	0.01
Altura hidráulica en los orificios	1.5
Diferencia de alturas entre el nivel del líquido en la cámara de bombeo y la tubería de alimentación	3
<i>Altura dinámica total</i> = 7,53	

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 GENERALIDADES.

En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos en procedimientos expuestos en el capítulo III.

Para realizar el diagrama de flujo, se resumió de forma directa y simple los procedimientos usados para cada método, que se explicaron anteriormente. (Ver Fig. 17). Al momento de la elaboración del diagrama de flujo primero, se describen los datos que se tienen y luego de forma continua se van siguiendo los pasos que fueron mostrados en cada método.

A partir de los pasos mostrados en la Fig. 4.1, se puede realizar la hoja de cálculo en formato Excel, para lograr así valores más puntuales. Al igual que en el diagrama de flujo primero, se describen los datos y seguidamente se van definiendo las fórmulas para cada paso, obteniéndose así los resultados. Por ejemplo, para hacer el cálculo del caudal promedio se toma el valor ubicado en la celda D6 multiplicándose con la celda D7, arrojando un valor de 500 L/d en la columna de resultados E; y así sucesivamente se van completando el resto de los cálculos. (Ver. Fig.18-19 y 21-22).

Los resultados obtenidos en la hoja de cálculo en formato Excel, presentan una variación mínima respecto a los cálculos manuales realizados, debido a que este formato toma en cuenta todos sus decimales, mientras que los cálculos manuales se utilizaron dos decimales.

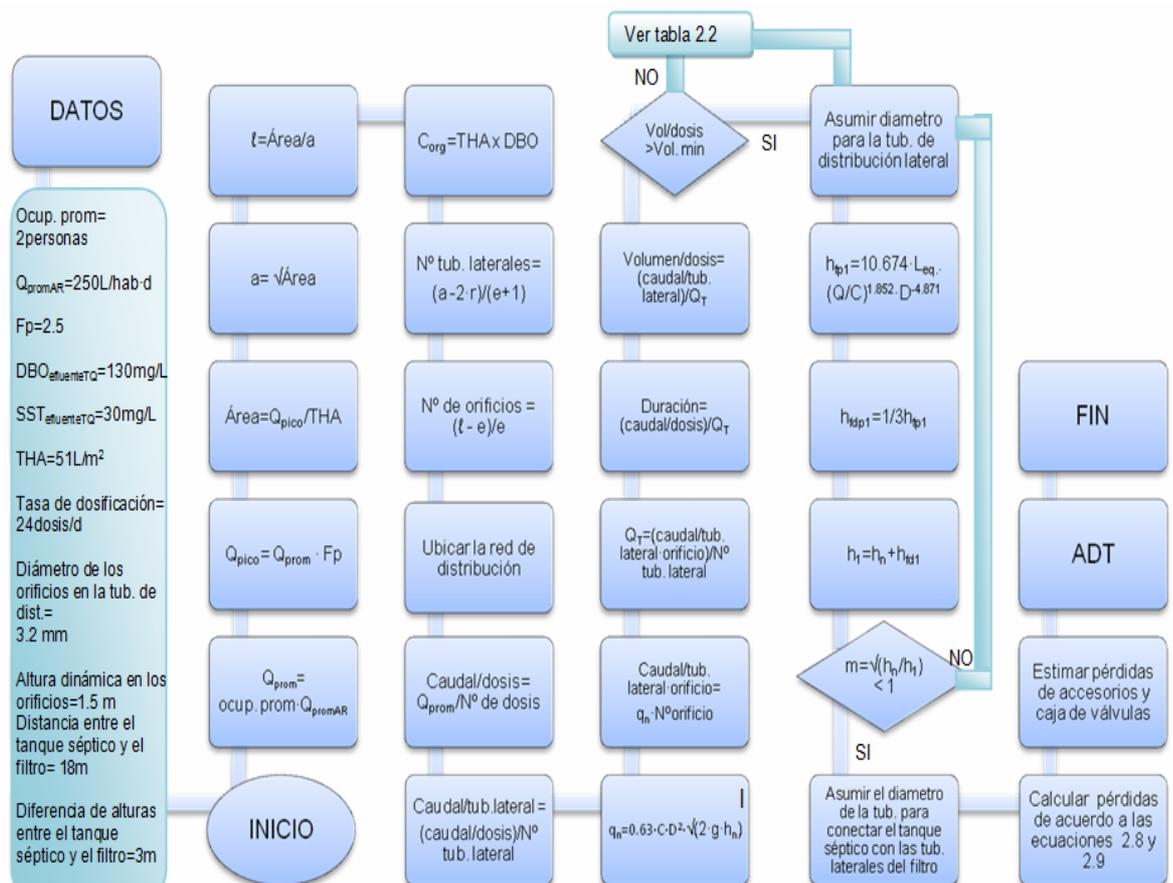


Fig. 17. Diagrama de flujo para el dimensionamiento de un filtro intermitente de arena. Fuente: Autoras (2010)

filtró arena - Microsoft Excel

Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista

Pegar Fuente Alineación Número Estilos Celdas

Portapapeles Fuente Alineación Número Estilos Celdas

Formato Dar formato Estilos de condicional como tabla de celda Insertar Eliminar Formato

Autosuma Rellenar Ordenar y filtrar Buscar y seleccionar

Modificar

15

A B C D E F

1 **FILTROS INTERMITENTES DE ARENA**

2

3 **Método: Crites, R. y Tchobanoglous, G. (2000).**

4

Parámetro	Datos	Unidad
Ocupación promedio	2	personas/d
Caudal promedio de agua residual	250	L/hab-d
Factor pico	2.5	
DBO en el efluente del tanque séptico	130	mg/L
SST en el efluente del tanque séptico	30	mg/L
Tasa hidráulica de aplicación	51	L/m ² d
Tasa de dosificación del filtro de arena	24	dosis/d
Diámetro de los orificios de la tubería de distribución	3.2	mm
Altura hidráulica en los orificios	1.5	m
Distancia entre el tanque séptico y el filtro	18	m
Diferencia de alturas entre el tanque séptico y el filtro	3	m
Espaciamiento entre tuberías laterales y orificios	0.45	m
Distancia entre la tubería y el muro	0.3	m
Coefficiente de descarga del orificio para tubería de PVC	0.63	
Aceleración debido a la gravedad	9.81	m/s ²
Coefficiente de Hazen-Williams, para tubería PVC	150	
Diámetro interno de una tubería de 32mm (asumido)	27.2	mm
Diámetro interno de una tubería de 50mm (asumido)	43.2	mm
Pérdidas en la caja de válvulas (estimadas)	1.5	m
Pérdidas en los accesorios (estimadas)	0.3	m

Hoja1 Hoja2 Hoja3

Listo 120%

Fig. 18. Hoja de cálculo en formato Excel para el dimensionamiento de un filtro intermitente de arena. Fuente: Autoras, (2010)

filtró arena - Microsoft Excel

Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista

Pegar Fuente Alineación Número Estilos Celdas Modificar

B67

A B C D E F G H I

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

Hoja1 Hoja2 Hoja3

Listo 100%

SOLUCIÓN

Parámetro	Resultado	Unidad
Caudal Promedio	500.0000	L/d
Caudal Pico	1250.0000	L/d
Área del filtro	24.5098	m ²
Ancho del filtro	5.0000	m
Largo del filtro	5.0000	m
Longitud de la tubería de distribución	4.4000	m
Tasa de carga orgánica	0.0066	kg DBO/m ² d
Número de tuberías laterales	10.7778	tub. Laterales
Número de orificios	10.1111	orificio/tub. Lateral
Cantidad de caudal por dosis	20.8333	L/dosis
Cantidad de caudal descargado por cada tubería lateral por dosis	1.9330	L/tub. Dosis
Caudal de descarga por orificio	0.0350	L/s orificio
Caudal en cada tubería lateral	0.3539	L/s tub. Lateral
Caudal total en cada tubería lateral	3.8139	L/s
Duración del caudal por cada dosis	5.4625	s
Volumen de descarga por cada orificio por dosis	0.1912	L/orificio dosis
Longitud incrementada un 10%	5.5000	m
Pérdidas de carga en una tubería sin orificio	0.0938	m
Pérdida de carga en una tubería lateral con orificio	0.0313	m
Altura hidráulica en el primer orificio	1.5313	m
Chequeo del valor decimal <1	0.9897	
Diferencia entre caudal de descarga del primer orificio y el último en cada tubería	1.0263	%
Pérdida de carga en la tubería de conducción desde el tanque séptico al filtro	2.6347	m
Pérdida de carga en la tubería de alimentación sin conexiones laterales	0.6440	m
Pérdidas de carga en la tubería de alimentación con conexiones laterales	0.2147	m
Altura dinámica total	9.1806	m

Fig. 19. Continuación de la hoja de cálculo en formato Excel para el dimensionamiento de un filtro intermitente de arena. Fuente: Autoras, (2010)

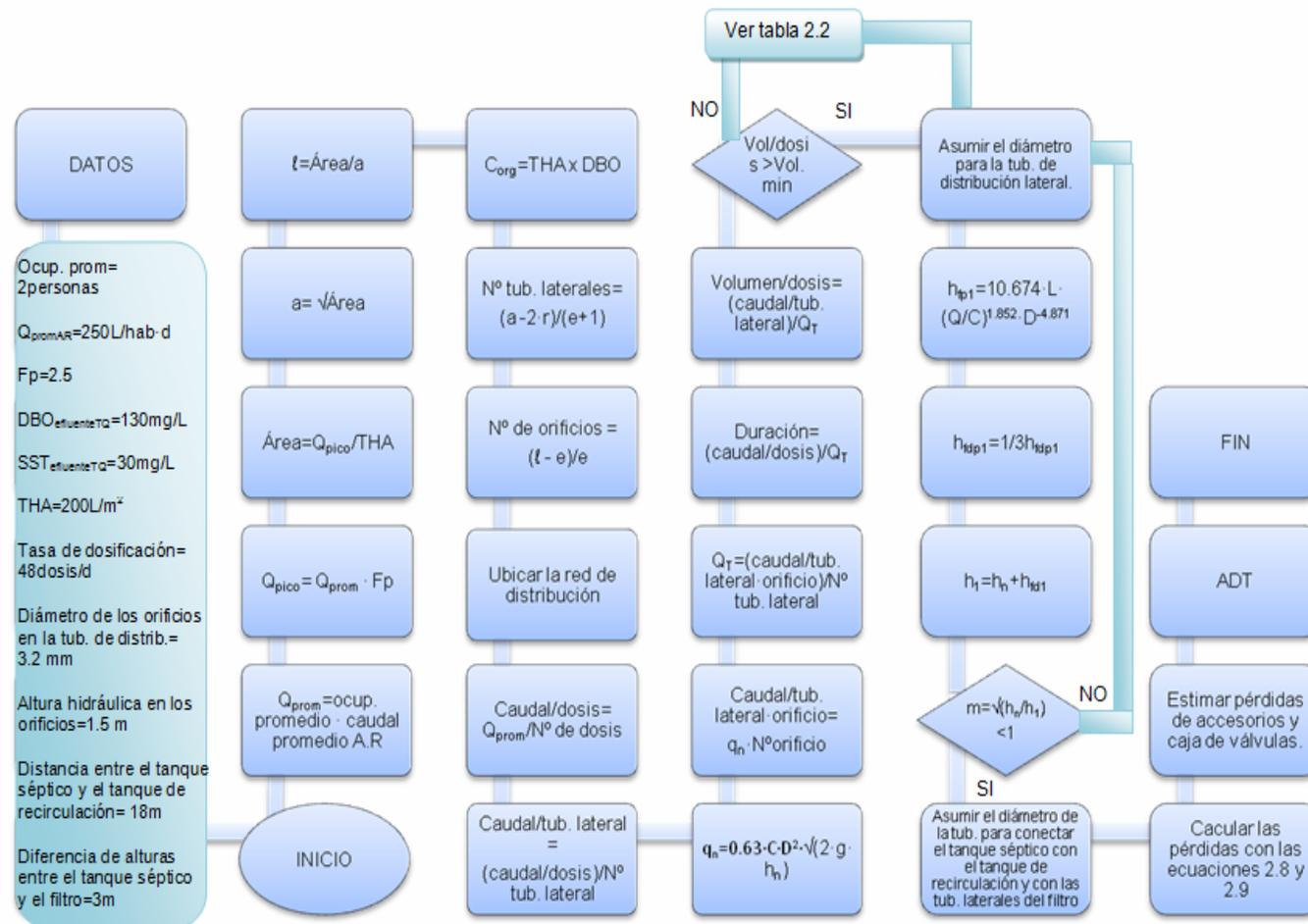


Fig. 20. Diagrama de flujo para el dimensionamiento de filtro de arena con recirculación. Fuente: Autoras, (2010)

Microsoft Excel - filtro arena

Método: Crites, R. y Tchobanoglous, G. (2000).

Parámetro	Dato	Unidad
Ocupación promedio	2	personas/d
Caudal promedio de agua residual	250	L/hab d
Factor pico	2.5	
DBO en el efluente del tanque séptico	130	mg/L
SST en el efluente del tanque séptico	30	mg/L
Tasa hidráulica de aplicación	200	L/m ² d
Tamaño del tanque de recirculación	3000	L
Tamaño de la cámara de bombeo	1500	L
Tasa de dosificación del filtro de arena	48	dosis/d
Diámetro de los orificios de la tubería de distribución	3.2	mm
Altura hidráulica en los orificios	1.5	m
Relación de circulación	4.1	
Espaciamiento entre tuberías laterales y orificios	0.3	m
Distancia entre la tubería y el muro	0.3	m
Distancia entre el tanque séptico y el filtro	18	m
Diferencia de alturas entre el nivel de líquido en la cámara de bombeo y tub. de alimentación	3	m
Coefficiente de descarga del orificio para tubería de PVC	0.63	
Aceleración debido a la gravedad	9.81	m/s ²
Coefficiente de Hazen-Williams, para tubería PVC	150	
Diámetro interno de una tubería de 32mm (asumido)	27.2	mm
Diámetro interno de una tubería de 50mm (asumido)	43.2	mm
Pérdidas en la caja de válvulas (estimadas)	1.5	m
Pérdidas en los accesorios (estimadas)	0.3	m

Fig. 21. Hoja de cálculo en formato Excel para el dimensionamiento de un filtro de arena con recirculación. Fuente: Autoras, (2010)

filtró arena - Microsoft Excel

Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista

Pegar Fuente Alineación Número Estilos Celdas Modificar

Portapapeles Fuente Alineación Número Estilos Celdas Modificar

Autosuma Rellenar Borrar Ordenar y filtrar Buscar y seleccionar

G34

	A	B	C	D	E	F	G	
39			SOLUCIÓN					
40								
41			Parámetro	Resultado	Unidad			
42			Caudal Promedio	500 0000	L/d			
43			Caudal Pico	1250 0000	L/d			
44			Área del filtro	6.2500	m ²			
45			Ancho del filtro	2.5000	m			
46			Largo del filtro	2.5000	m			
47			Longitud de la tubería de distribución	1.9000	m			
48			Tasa de carga orgánica	0.0260	kg DBO/m ² d			
49			Número de tuberías laterales	7.3333	tub. Laterales			
50			Número de orificios	7.3333	orificio/tub. Lateral			
51			Cantidad de caudal por dosis	10.4167	L/dosis			
52			Cantidad de caudal descargado por cada tubería lateral por dosis	1.4205	L/tub. Dosis			
53			Caudal de descarga por orificio	0.0350	L/s orificio			
54			Caudal en cada tubería lateral	0.2566	L/s tub. Lateral			
55			Caudal total en cada tubería lateral	1.8821	L/s			
56			Duración del caudal por cada dosis	5.5347	s			
57			Volumen de descarga por cada orificio por dosis	0.1937	L/orificio dosis			
58			Tiempo para el ciclo de aplicación	5.5347	s			
59			Tiempo de reposo	29.9078	min			
60			Longitud incrementada un 10%	2.7500	m			
61			Pérdidas de carga en una tubería sin orificio	0.0259	m			
62			Pérdida de carga en una tubería lateral con orificio	0.0086	m			
63			Altura hidráulica en el primer orificio	1.5086	m			
64			Chequeo del valor decimal <1	0.9971				
65			Diferencia entre caudal de descarga del primer orificio y el último en cada tubería	0.2862	%			
66			Pérdida de carga en la tubería de conducción desde el tanque séptico al filtro	0.7123	m			
67			Pérdida de carga en la tubería de alimentación sin conexiones laterales	0.0752	m			
68			Pérdidas de carga en la tubería de alimentación con conexiones laterales	0.0251	m			
69			Altura dinámica total	7.7583	m			
70								

Hoja1 Hoja2 Hoja3

Listo 100%

Fig. 22. Continuación de hoja de cálculo en formato Excel para el dimensionamiento de un filtro de arena con recirculación. Fuente: Autoras, (2010)

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.

- El sistema de filtros de arena tiene bajo impacto ambiental, ya que el consumo de energía es bajo y los costos de operación y mantenimiento son mínimos.
- Dados los bajos requisitos de superficie que precisan los filtros de arena para su implantación, su elección se justifica cuando sean escasas las disponibilidades de terreno o suelos impermeables.
- Los filtros de arena son sistemas que no trabajan de forma individual, tienen que estar acompañados de un proceso primario, para que su funcionamiento sea efectivo y de un sistema de disposición final para las aguas ya tratadas.
- Los filtros correctamente dimensionados constituyen sistemas muy fiables debido a la gran cantidad de remoción de microorganismos presente, su efectividad radica en el uso de la arena como medio filtrante, debido a su gran durabilidad y libre de polvo y partículas orgánicas finas.
- Cuando los filtros de arena son alimentados con múltiples dosis, estos llegan a producir un efluente de gran calidad con bajas concentraciones de DBO, SST, turbiedad y amonio.

- El éxito en el tratamiento de las aguas residuales depende de los microorganismos aeróbicos; la concentración de los componentes biológicos de estas poblaciones son esenciales para un desempeño eficiente del filtro, ya que consumen los nutrientes de estas aguas, ayudando de esta forma al que efluente sean más clarificado.
- Los filtros de arena resisten mejor las sobrecargas hidráulicas menores de 80 mm/d y cargas orgánicas menores de 0.01 kg DBO/m²·d, para evitar la colmatación del sistema; mientras que con los de recirculación tienen una mejor eficiencia con cargas hidráulicas menores a 200 mm/d y cargas orgánicas menores de 0.04 Kg DBO/m²·d.
- En algunos casos, la presencia de aire en la tubería de conducción del tanque séptico al filtro puede ocasionar un aumento considerable en las pérdidas, en especial si existen puntos elevados en la tubería. La utilización de tuberías de diámetro pequeño y bombas de gran cabeza ayuda a evacuar el aire de la línea, eliminando el problema.
- El área del filtro dependerá del caudal generado por el número de habitantes promedio de la vivienda.
- Para el cálculo de las pérdidas de cargas de la tubería de distribución lateral, la longitud de la tubería debe incrementarse un 10%, para incluir las pérdidas menores generadas.
- Se debe chequear que el valor m (constante con valor decimal menor a 1) debe estar comprendido entre 0.95 – 0.98 para verificar que el diámetro de la tubería asumido es el adecuado para el sistema.

- Cuando las condiciones del terreno no son favorables para el tratamiento y disposición adecuados del agua residual mediante sistemas convencionales, los filtros de arena son recomendados como una alternativa viable.

5.2 RECOMENDACIONES.

- Se recomienda que los filtros de arena sean construidos en zonas de clima cálido para un desempeño óptimo; en caso de ser construidos en zonas frías se debe hacer uso de cobertores removibles para prevenir la congelación.
- Se debe chequear que el sistema de pretratamiento escogido o usado trabaje debidamente para garantizar que el filtro de arena sea eficiente.
- Para viviendas unifamiliares, el filtro de arena enterrado es el más recomendado, debido a que son diseñados para limitar la necesidad del mantenimiento.
- Se recomienda no hacer uso de compuestos químicos para la limpieza del agua, ya que puede ocasionar problemas en el sistema.
- Se recomienda hacer uso debido del agua, esto ayuda a prolongar la vida del filtro y el consumo de energía es mucho más reducido
- Para tener un mejor control del sistema, se recomienda hacer un mantenimiento rutinario del mismo para evitar futuras fallas.

- Los orificios de la tubería de distribución deben ser perforados preferiblemente con un taladro prensa para obtener diámetros y distribuciones de caudales iguales y que las pérdidas de cargas producidas sean menores que las generadas por los orificios perforados manualmente.
- Las tuberías de distribución deben ser evaluadas satisfactoriamente para evitar futuras averías o fallas en el sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] BALL, H. (1991). Sand filters: State of the art and beyond, **“Proceedings 6th national Symposium on individual and small community sewage systems”**. American Society of Agricultural Engineers. Chicago, IL.
- [2] BALL, E. (1996). Pressure Dosing: Attention to detail, in R.W. Seabloom (ed.), **“Proceedings 8th Northwest Onsite wastewater treatment short course and equipment exhibition”**. University of Washinton, Seattle.
- [3] BALL, J., y DENN, (1997). **“Desing of recirculating sand filters using a standardized methodology”**, in M. S. Bedinger, A. I. Johnson, and J. S Fleming (eds.), site characterization and desing of on site septic systems, Philadelphia.
- [4] BOUNDS, T. (1996). Pumps, control and regulations, in R. W. Seabloom (ed.). **“Proceedings 8th northwest on site wastewater treatment short course and equipment exhibition”**. University of Washington, Seattle.
- [5] CRITES, R. y TCHOBANOGLOUS, G. (2000). **“Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones”**. McGraw-Hill. México.
- [6] CUBILLOS, A. (1981) **“Parámetros y características de las aguas residuales”**. Disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan2/011643/011643-09.pdf>.
- [7] GUSTAFSON D, ANDERSON J. y CHRISTOPHERSON S. (2001).

“Innovative onsite sewage treatment systems”. Publicado por: University of Minnesota. Disponible en: <http://www.extension.umn.edu/distribution/naturalresources/DD7672.html>.

- [8] LESIKAR B. y ENCISO J. **“Onsite wastewater treatment Systems”**. Publicado por: Agrilifebookstore. Disponible en: https://agrilifebookstore.org/tmppdfs/viewpdf_921_89247.pdf?CFID=3315410&CFTOKEN=e9cabff58fca74ab-BA3A945E-CD1D-1D10-9E4435E6D5A96DCF&jsessionid=90301c382fa32d24d15b164e8741384c3472
- [9] METCLAF & EDDY. (1995). **“Ingeniería de Aguas Residuales”**. Vols. I yII. Ira. Edición. Editorial McGraw – Hill. México.
- [10] M.A.R.N.R / M.I.N.D.U.R (1999). **“Normas Generales para el Proyecto de Alcantarillado”**. G.O. N° 5318. Caracas.
- [11] M.S.A.S / M.I.N.D.U.R (1989). **“Normas Sanitarias para el Proyecto, Construcción, Ampliación, Reforma y Mantenimiento de las Instalaciones Sanitarias para Desarrollos Urbanísticos”**. G.O. N° 4103. Caracas.
- [12] M.S.A.S / M.I.N.D.U.R (1989). **“Normas Sanitarias para el Proyecto, Construcción, Reparación, Reforma y Mantenimiento de Edificaciones”**. G.O N° 4044. Caracas.
- [13] Orenco Systems, Inc. (1998).
- [14] RIVAS, G. (1978). **“Tratamiento de Aguas Residuales”**. Segunda edición. Ediciones Vega. Caracas.

- [15] ROJAS, C. (1998) **“Manual para la Presentación del Proyecto y de la Tesis de Pregrado en Ingeniería”**, Primera Edición, Fondo Editorial UDO-Anzoátegui, Universidad de Oriente, Anzoátegui, Venezuela.
- [16] (UNATSABAR) Unidad de Apoyo Técnico al Saneamiento Básico Rural. (2003). **“Especificaciones técnicas para el diseño de zanjas filtros y filtros subsuperficiales de arena”**. Publicado por: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/cosude/x.pdf>.
- [17] U.S EPA. Environmental Protection Agency. (1999). **“Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: Filtros Intermitentes de Arena”**. EPA Office of Water Washington, D.C. EPA 832-F-99-067.
- [18] U.S EPA. Environmental Protection Agency. (2002). **“Onsite Wastewater Treatment Systems Manual”**. EPA Office of Water Washington, D.C. EPA 625/R-00/008.
- [19] WIKIPEDIA. (2006). **“Tratamiento de Aguas residuales”**. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento_de_aguas_residuales.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

TÍTULO	METODOLOGÍA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE FILTROS DE ARENA PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES PROVENIENTES DE TANQUES SÉPTICOS.
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Aguilera N., Paula L.	CVLAC: 17.263.764 E MAIL: paulaaguilera228@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:
Carrera M., Liliana C.	CVLAC: 18.273.829 E MAIL: lili_krolina@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

DIMENSIONAMIENTO _____

FILTROS DE ARENA _____

TRATAMIENTO DE EFLUENTES _____

TANQUES SÉPTICOS _____

MÉTODOS DE CÁLCULO _____

DIAGRAMA DE FLUJO _____

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y ciencias aplicadas	
	Ingeniería Civil

RESUMEN (ABSTRACT):

Los filtros de arena consisten en una excavación o estructura hermética llena de arena uniformemente clasificada y lavada (utilizada como medio filtrante) que normalmente es colocado sobre un sistema de drenaje. También son conocidos como filtros de lecho empacados. Las aguas residuales son tratadas en la superficie de la arena por una red de distribución conectada que al filtrarse por la arena es recolectado por el sistema de drenaje. Este sistema recoge el líquido filtrado para un tratamiento posterior de recirculación o a la descarga a un sistema de infiltración sobre el suelo. Algunos son diseñados "sin fondo" que infiltran el efluente tratado directamente en el suelo debajo del medio de arena.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Ghanem R., Ana V.	ROL	CA	AS X	TU	JU
	CVLAC:	5.396.725			
	E_MAIL	ana_ghanem@hotmail.com			
	E_MAIL				
Morales C., Hilda J.	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	5.189.811			
	E_MAIL	moraleshc@gmail.com			
	E_MAIL				
Ramírez T., María J.	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	13.766.690			
	E_MAIL	tochon2@yahoo.com			
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2010	05	21
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
MONOGRAFÍA. Dimensionamiento de filtros de	Application/msword
arena.doc	

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K
L M N O P Q R S T U V W X Y Z . a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z . 0 1 2 3 4 5
6 7 8 9 .

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Civil_____

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado_____

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Ingeniería Civil_____

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente/Núcleo Anzoátegui_____

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado

“Los Trabajos de grados son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizadas a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participara al Consejo Universitario”

Br. Aguilera N., Paula L.

AUTOR

Br. Carrera M., Liliana C.

AUTOR

Ghanem R., Ana V.

TUTOR

Morales C., Hilda J.

JURADO

Ramírez T., María J.

JURADO

Saab Yasser

POR LA SUBCOMISION DE TESIS