

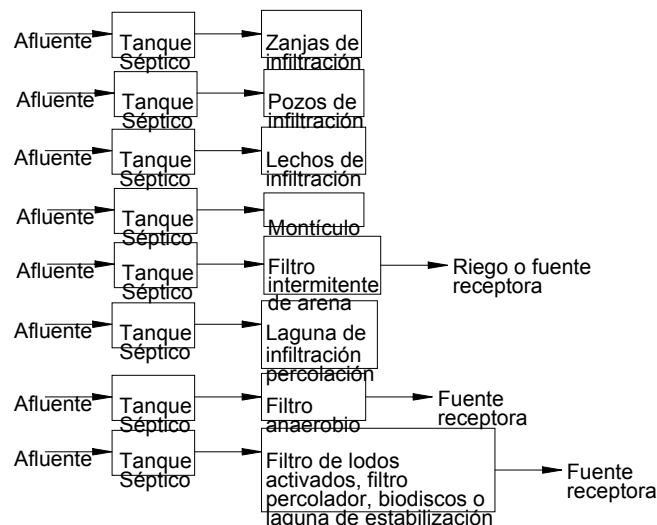
XII

Reuso de aguas residuales y pluviales

La generación de aguas residuales es un producto inevitable de la actividad humana. El tratamiento y disposición apropiada de las aguas residuales, el conocimiento de las características físicas, químicas y biológicas no competen a este texto. Sin embargo el propósito de este capítulo es proveer los conocimientos básicos para el reuso de aguas residuales especialmente pluviales.

El tratamiento en el mismo sitio es una alternativa necesaria en lugares donde no existe alcantarillado sanitario. La Solución más sencilla y recomendable para el tratamiento y disposición de las aguas residuales producidas por las descargas de casas, conjuntos residenciales, moteles, hoteles, haciendas, etc., es conectarse al alcantarillado sanitario; sin embargo, cuando no existe dicha posibilidad se hace necesario brindar una alternativa sencilla para tratamiento y disposición en el mismo sitio de origen de las aguas residuales.

El diagrama de flujo que presentamos a continuación es el más usado para el tratamiento y disposición de aguas residuales en el mismo sitio. La selección de un sistema de tratamiento en el mismo sitio debe tener en cuenta el objetivo básico de ofrecer los resultados del tratamiento requerido en la forma práctica más sencilla, más confiable, de más fácil operación y de costo mínimo. En general, se considera que estos sistemas pueden ser adecuados para poblaciones equivalentes, menores de 300 personas.



El suelo tiene capacidad de tratar materia orgánica e inorgánica, al igual que organismos patógenos, pues actúa como filtro, como intercambiador iónico, como adsorbedor y como superficie sobre la cual pueden ocurrir muchos procesos químicos y bioquímicos. Cuando el suelo no está saturado puede entrapar físicamente materia particulada del agua residual. La mayor parte de los suelos y de la materia orgánica son de carga negativa, por lo que pueden atraer y retener los componentes catiónicos de las aguas residuales y repeler los componentes aniónicos; por ello, la

capacidad de intercambio catiónico es una buena medida de la habilidad del suelo para retener compuestos del agua residual.

La profundidad de suelo requerida para tratamiento adecuado del agua residual es función de su permeabilidad. Suelos con permeabilidad rápida permiten tasas de aplicación más altas, pero requieren mayores profundidades no saturadas, por debajo de la superficie de infiltración, que los suelos con permeabilidad lenta.

12.1 Tanque séptico

El tanque séptico, en el cual la sedimentación y la digestión del residuo ocurren en el mismo recipiente, es el sistema más usado para adecuar el agua residual con el fin de dispersarla en el subsuelo mediante campos de infiltración o para postrarla en filtros anaerobios, filtros intermitentes de arena o procesos biológicos convencionales en el mismo sitio, **figura 12.1**. Se construye en materiales impermeables como concreto, fibra de vidrio, acero, pino californiano y polietileno. Se recomienda localizarlo en un lugar apropiado para facilitar su limpieza y mantenimiento, a más de 15 m de cualquier fuente de abastecimiento, a más de 2 m de cualquier edificación, en terreno no inundable y con área suficiente para el eventual campo de infiltración. En estudios realizados sobre eficiencia de los tanques sépticos se indican las siguientes conclusiones principales:

- 1) El tanque séptico debe tener un período de retención mayor de 24 horas.
- 2) El tanque séptico debe tener una configuración de la unidad de salida con pantalla para gases.
- 3) La relación de área superficial a profundidad debe ser mayor de 2.
- 4) Se debe preferir un tanque de cámaras múltiples con interconexiones similares a las de la unidad de salida.

El período de desenlode de un tanque séptico se puede establecer con base en la experiencia de instalaciones semejantes, aunque la cantidad de lodo acumulado depende del agua residual afluyente y de la tasa de digestión, la cual está influida por la temperatura local. En general para diseño se usa una tasa de acumulación de lodo de $0.04 \text{ m}^3/\text{c.año}$, con una capacidad disponible para lodo de un tercio del volumen del tanque séptico.

La limpieza de un tanque séptico se hace para prevenir que el manto de lodos o de natas pueda contribuir al escape de sólidos por el efluente. En general, el tanque debe limpiarse cuando el fondo del lecho de natas o sobrenadante está a menos de 7.5 cm del borde inferior de la pantalla de salida o cuando la profundidad del manto de lodos es del 40% o más con respecto a la profundidad de agua en el tanque. El desenlode se efectúa bombeando el contenido del tanque a un camión cisterna y disponiendo el residuo en los sitios autorizados para tal efecto.

12.2 Trampa para grasas

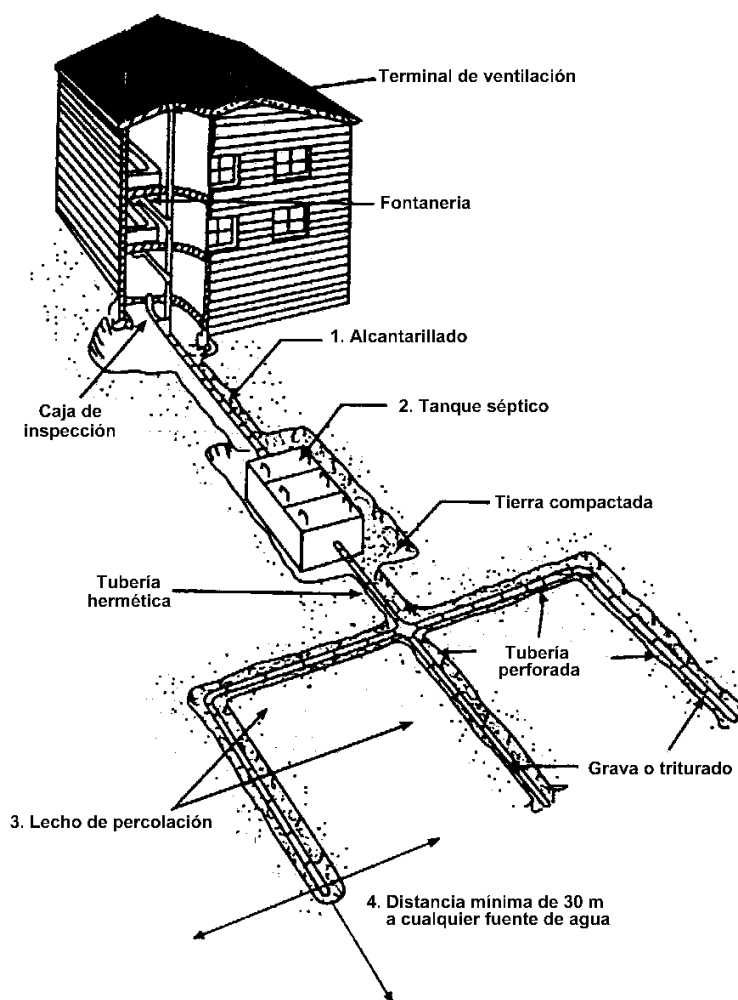
La trampa para grasas se incluye en sistemas de tratamiento de aguas residuales para establecimientos como estaciones de servicio, moteles, hospitales, restaurantes y hoteles, en que existe una producción apreciable de grasas, con el objeto de prevenir el taponamiento de las tuberías y el efecto deletéreo (formación de gases que destruye la salud) que puedan tener ellas sobre la acción bacterial y la sedimentación en el tanque séptico. En las **figuras 12.2 y 12.3** se presenta un esquema típico de un separador de grasas.

Los métodos estándar definen grasas y aceites como grupos de sustancias con características físicas similares, determinadas cuantitativamente con base en su solubilidad común con freón o hexano. El termino grasas y aceites incluye materiales de origen vegetal, materiales de tejido animal, petróleo o componentes del petróleo y otros materiales extraídos por el solvente. Al

petróleo y a sus componentes también se les denomina hidrocarburos o aceites no polares.

En aguas residuales domésticas, el contenido de grasas y aceites puede ser del orden de 30 a 50 mg/L y constituir alrededor del 20% de la DBO; en aguas residuales con residuos industriales la concentración es generalmente mucho mayor. Las grasas y aceites pueden acumularse en las alcantarillas y bombas, obstruyéndolas; en los sedimentadores causan problemas de flujo, sobre todo en lodos con alta concentración de grasas y aceites. Los hidrocarburos son difíciles de biodegradar de manera aerobia y prácticamente no degradables en sistemas anaerobios. Así mismo, las grasas y aceites dificultan el proceso de secado de lodos de dichas aguas residuales.

El sistema más sencillo para remoción de aceites y grasas no emulsificadas, usado para establecimientos e industrias pequeñas, es la trampa para grasas. Esta es un tanque diseñado para retener las grasas y aceites, así como para permitir su limpieza y mantenimiento apropiado.



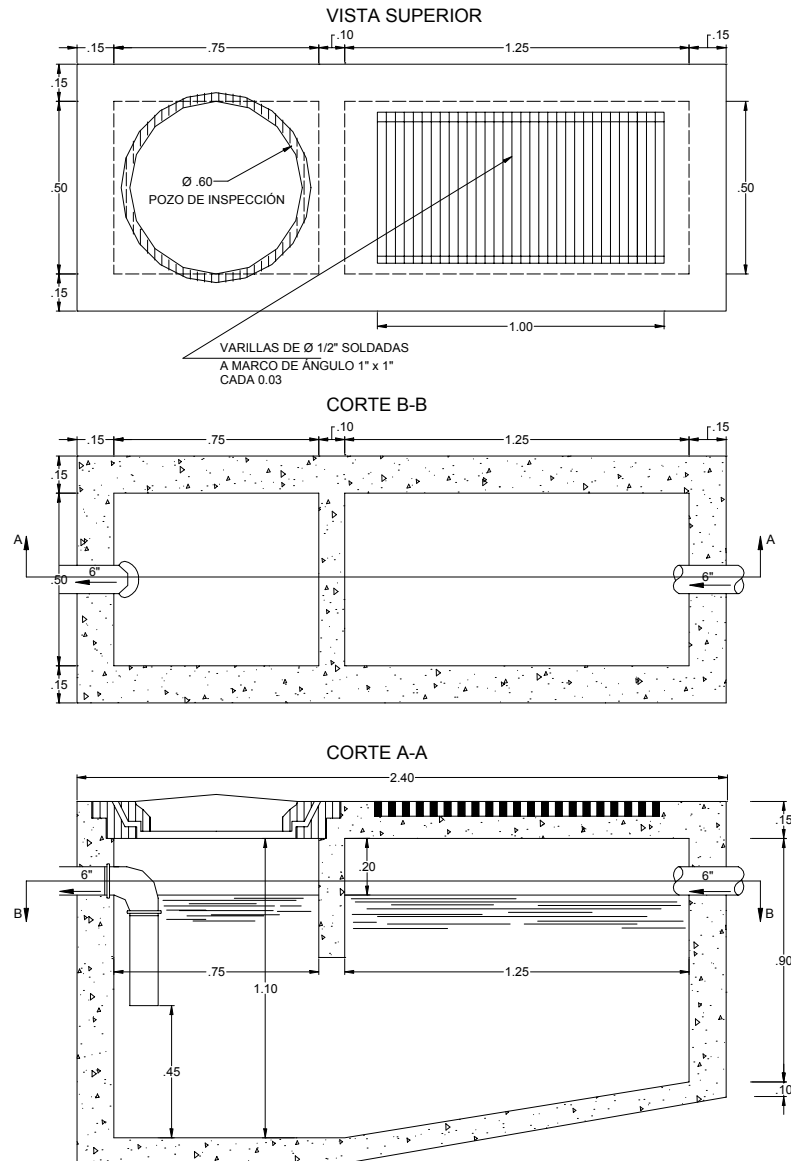
Fuente: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "J. ROMERO ROJAS", 2000

Figura 12.1 Tanque séptico, lecho de percolación para disposición de aguas residuales en el mismo sitio.

La trampa debe tener un diseño hidráulico y un tiempo de retención adecuado para el propósito propuesto; la distancia entre la entrada y la salida de la trampa ha de ser suficiente para permitir la separación diferencial por gravedad y no dejar escapar grasas por la unidad de salida. Las pantallas de control de flujo son esenciales para garantizar un régimen hidráulico apropiado y prevenir trastornos hidráulicos por cambios súbitos de caudal.

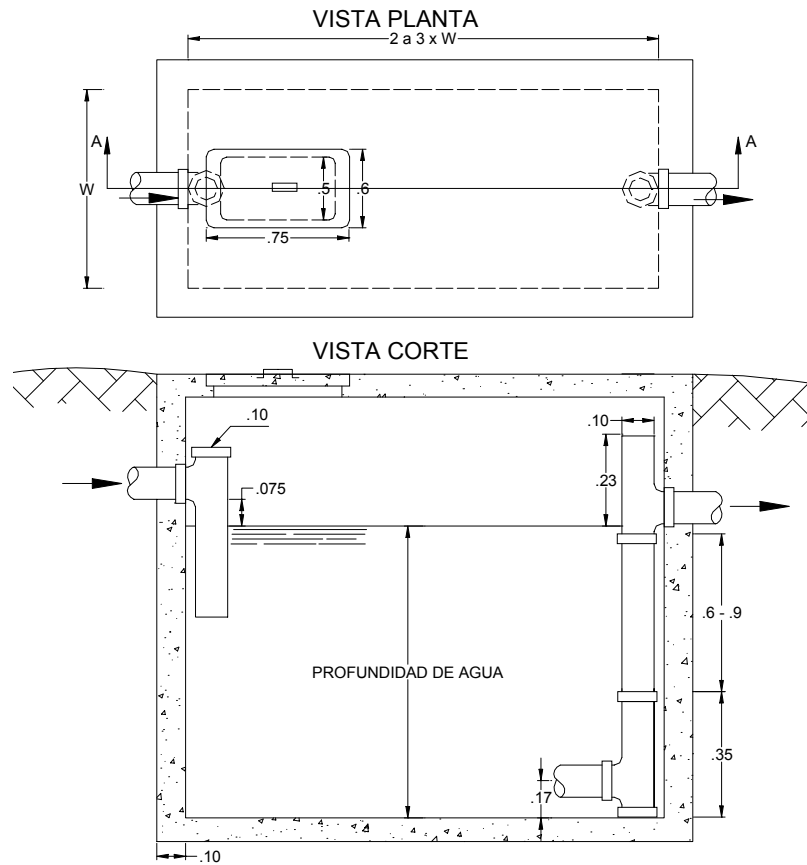
Una trampa de grasas es una cámara pequeña de flotación en la cual la grasa flota a la superficie libre del agua y es retenida, mientras que el agua más clara subyacente es descargada. En un trampagrasas no hay equipo mecánico y el diseño es similar al de un tanque séptico. La entrada del agua residual se hace por debajo de la superficie del agua y la salida generalmente por el fondo; entre más grande sea el tanque más eficiente es el sistema, por ello el mejor trampagrasas es el tanque séptico. Normalmente se diseña con tiempos de retención de 15 a 30 minutos y de un tamaño mínimo de 2.8 m^3 (ver tablas 12.1 y 12.2)

El mantenimiento pobre es lo que hace que en la mayoría de los casos las trampas para grasas no funcionen adecuadamente, la falta de limpieza continua permite la acumulación excesiva de grasa en la trampa y su descarga con el efluente. Para un buen funcionamiento de la trampa deben evitarse las cargas hidráulicas súbitas sobre ella ya que esto puede producir agitación excesiva del contenido de la trampa, impide la retención y flotación de la grasa y permite su escape por la unidad de salida.



Fuente: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "J. ROMERO ROJAS", 2000

Figura 12.2 Separador de grasas (Unidades métricas).



Fuente: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "J. ROMERO ROJAS", 2000

Figura 12.3 Esquema de una trampa para grasas (Unidades métricas).

Tabla 12.1 CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL SUELO

TEXTURA	PERMEABILIDAD [cm/hr]	PERCOLACIÓN [min/cm]
Arena	>15	<4
Marga arenosa	0.5 - 15	4 - 18
Marga limosa porosa		
Marga arcillosa limosa		
Arcillas, marga limosa	<0.5	>18
Marga arcillosa limosa		

Fuente: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "J. ROMERO ROJAS", 2000

12.3 Campos de infiltración

Un campo de infiltración recibe el efluente de un tanque séptico y gracias a la permeabilidad del suelo permite el tratamiento y disposición subsuperficial del agua residual. El primer paso para proyectar un sistema de disposición subsuperficial de aguas residuales es determinar si el suelo es apto para la infiltración del efluente del tanque séptico y, en caso positivo, calcular el área necesaria. El nivel freático o la superficie de cualquier formación impermeable debe encontrarse preferiblemente a más de 1 m del fondo de la zanja, lecho o pozo de infiltración.

Aunque existen correlaciones entre las características hidráulicas del suelo y su textura (como las de la **tabla 12.1**), la aptitud de un suelo para su utilización como campo de infiltración debe determinarse mediante un ensayo en el sitio.

El procedimiento para establecer la capacidad de infiltración y deducir la tasa de aplicación para el diseño del sistema de disposición subsuperficial puede ser el siguiente:

1. Se deben hacer mínimo tres ensayos en el área propuesta, con los huecos espaciados uniformemente.
2. Los huecos deben ser de 15 cm (10 a 30 cm de dimensión horizontal) excavados hasta la profundidad propuesta para el sistema de absorción (profundidad mínima de 60 cm). En el fondo se colocan 5 cm de grava de 1/2" a 3/4", como capa de protección, y se remueve todo el material suelto del hueco para proveer así una superficie de contacto de suelo natural a través de la cual se infiltre el agua.
3. Se llena el hueco con 30 cm de agua como mínimo. Esta profundidad se mantiene por lo menos durante cuatro horas y preferiblemente durante una noche para empapar el suelo y obtener resultados satisfactorios de percolación.
4. Se ajusta el nivel del agua a 15 cm sobre la grava y se mide la caída del nivel, a intervalos de 30 minutos, con una aproximación de dos milímetros. Se hacen mínimo tres lecturas, y después de la lectura se reajusta el nivel del agua a 15 cm sobre la grava. Si la tasa de percolación es muy rápida se hacen lecturas cada diez minutos durante una hora. Para el cálculo se usa la última lectura.
5. Cálculo. Por ejemplo, si la última lectura es de 1.6 cm en 30 minutos, la tasa de percolación será:

$$\text{Tasa de percolación} = \frac{30}{1.6} = 18.75 \approx 19 \text{ [min/cm]}$$

Mediante el ensayo de infiltración se define si el terreno es adecuado para un sistema de percolación. El área necesaria de infiltración se calcula con base en los resultados de la prueba de infiltración y la tasa de aplicación correspondiente, de acuerdo con los valores de la **tabla 12.2**.

En general se diseñan cuatro tipos de campos de infiltración o sistemas de absorción subsuperficial: zanjas de infiltración, lechos de infiltración, pozos de infiltración y montículos.

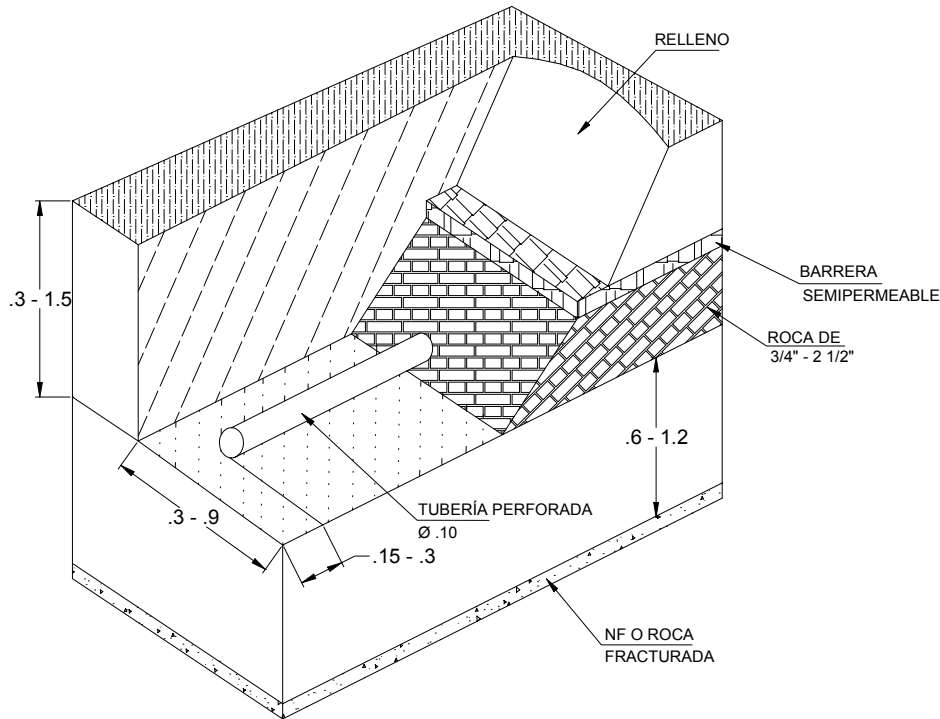
Tabla 12.2 TASAS DE APLICACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA SISTEMAS DE INFILTRACIÓN

TEXTURA DEL SUELO	TASA DE PERCOLACIÓN [min/cm]	TASA DE APLICACIÓN [L/m ² d]
Grava, arena gruesa	<0.40	No recomendado
Arena media a gruesa	0.4 - 2.0	48
Arena fina, arena margosa	2.1 - 6.0	32
Marga, marga arenosa	6.1 - 12.0	24
Marga, marga limosa porosa	12.1 - 24.0	18
Marga, arcillolimosa, marga arcillosa*	24.1 - 48.0	8
Arcillas, arcillas coloidales	>48	No recomendado

* Suelos sin arcillas expandida/ Fuente: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "J. ROMERO ROJAS", 2000

12.3.1 Zanjas de infiltración

Este sistema consiste en un conjunto de líneas de tubería de 10 cm de diámetro (4") tendidas en tal forma que el efluente del tanque séptico se distribuya con una uniformidad razonable en el suelo natural. Los tubos pueden ser perforados o de junta abierta. De preferencia, las líneas laterales de tubería no deben exceder de 18 m de longitud, con una longitud máxima permisible de 30 m; la pendiente de las zanjas y de las líneas de distribución se prefieren entre 1.5 y 3% prácticamente niveladas. La distancia entre las líneas de tubos puede variar entre 1.8 y 2.4 m.



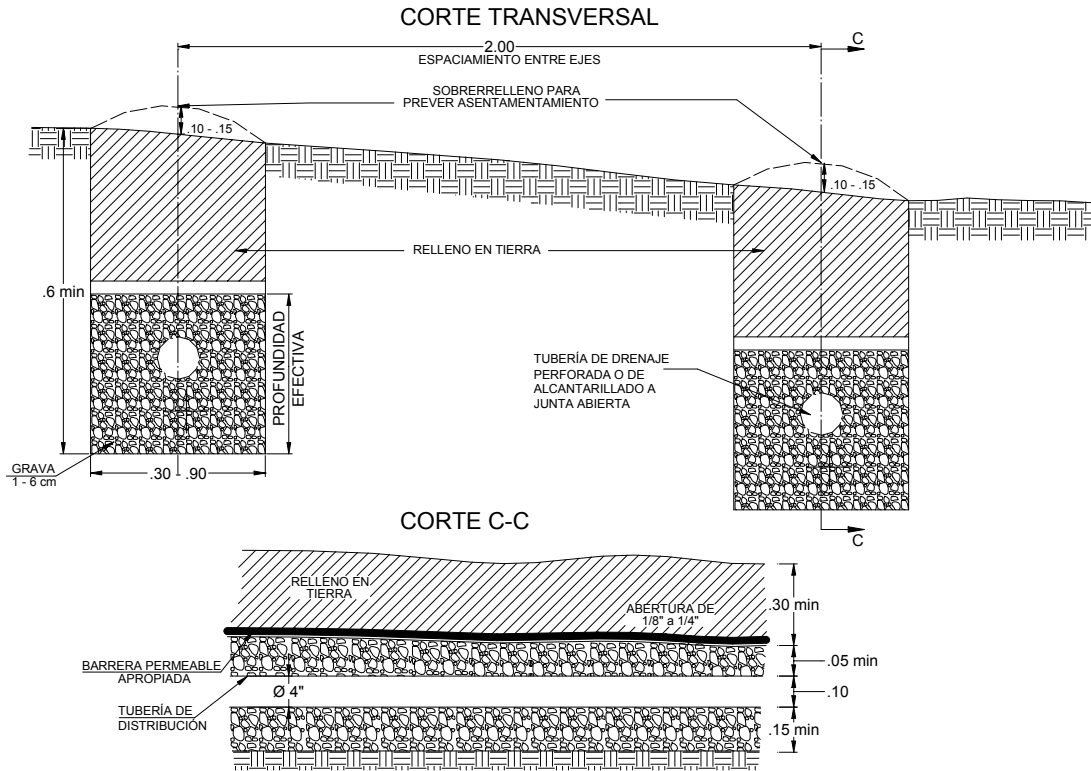
Fuente: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "J. ROMERO ROJAS", 2000

Figura 12.4 Típica zanja de infiltración (Unidades métricas).

La profundidad de las zanjas del campo de absorción ha de ser por lo menos de 30 cm o 60 cm con el fin de proveer un mínimo de cama de grava y cobertura de tierra. Los tubos se tienden sobre una cama de grava de 15 cm de espesor. Profundidades mayores de zanja pueden ser necesarios para adaptarse a los contornos del terreno, para una cama de grava adicional o para otros propósitos del proyecto. Se recomienda mantener una separación mayor de 1 m entre el fondo de la zanja y el nivel freático. El ancho mínimo de la zanja es de 30 cm y para zanjas hasta de 90 cm de ancho se toma como área de infiltración, por seguridad, solamente el área vertical de la zanja.

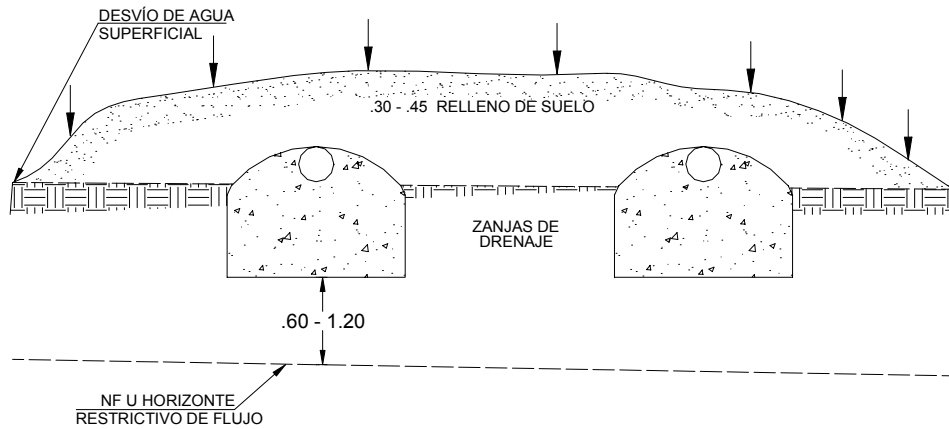
Las **figuras 12.4 y 12.5** ilustran la conformación típica de una zanja de infiltración.

Cuando el nivel freático o un estrato impermeable está muy cerca de la superficie del terreno, impidiendo la construcción del sistema de zanjas de infiltración, se puede elevar el campo de infiltración mediante la construcción de zanjas pandas, de 15 a 30 cm de profundidad, dentro de un relleno adicional de suelo (**figura 12.6**).



Fuente: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "J. ROMERO ROJAS", 2000

Figura 12.5 Detalle de una típica zanja de infiltración (Unidades métricas).



Fuente: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "J. ROMERO ROJAS", 2000

Figura 12.6 Zanjas para nivel freático u horizonte restrictivo de flujo alto (Unidades métricas).

EJEMPLO

Diseñar un sistema de tratamiento y disposición *in situ* para un caudal de $2 \text{ m}^3/\text{d}$ correspondiente a 16 personas. La tasa experimental de infiltración es de $13 \text{ min}/\text{cm}$; el suelo se ha clasificado como marga.

SOLUCIÓN:

1. Se calcula el volumen del tanque séptico para un tiempo de retención de tres días:

$$\text{Volumen} = 2 \times 3 = 6 \text{ m}^3$$

2. Se suponen zanjas con una profundidad útil de 1.2 m y de 0.40 m de ancho.
De la **tabla 12.2**, la tasa de aplicación es de 18 L/m²d. Por tanto:

$$\text{Capacidad de la zanja} = 2 \times 1.2 \times 18 = 43.2 \text{ [L/m.d]}$$

$$4. \text{ Longitud requerida de zanjas} = \frac{2000}{43.2} = 46.3 \text{ [m]}$$

Se pueden construir dos zanjas de 23 m de longitud cada una

REQUISITOS DE CONSTRUCCIÓN

- Se debe evitar el sellado u obstrucción de las superficies del fondo y las paredes de las zanjas. Para ello, las zanjas no deben excavarse cuando el suelo se encuentre suficientemente húmedo para compactarse. Si es necesario transitar dentro de las zanjas, deben usarse tabloncillos para reducir el daño; como es imposible evitar ciertas alteraciones, todas las superficies que se observan compactadas o alteradas se deben raspar cuidadosamente hasta unos 2 cm de profundidad, eliminando el material suelto antes de colocar la grava en la zanja.
- La grava o piedra triturada debe rodear el tubo completamente. El tamaño del material debe ser de 1 a 6 cm; no se recomienda escoria ni materiales finos, porque pueden provocar un taponamiento rápido.
- El espesor mínimo de grava por debajo del tubo es de 15 cm y por encima de 5 cm.
- La parte superior del lecho de grava se protege con papel grueso, sin impermeabilizar, o con una capa de unos 5 cm de heno, paja o material similar. No deben usarse materiales impermeables, pues interfieren la evapotranspiración superficial. La mitad superior de las juntas abiertas, cuando se usa este sistema, debe protegerse con un elemento apropiado.
- La corona de la nueva zanja de absorción se debe consolidar a mano. El relleno ha de sobresalir 10 a 15 cm sobre el nivel del suelo para evitar asentamientos que formen depresiones y permitan recolección del agua lluvia, lo cual conduce a una saturación prematura del campo de infiltración y a socavamiento de la zanja.
- No debe permitirse el acceso de vehículos al campo de infiltración, pues pueden aplastar los tubos; por ello, si se usa maquinaria en la construcción, esta debe retirarse antes de tender los tubos.

12.3.2 Lechos de infiltración

Los lechos de infiltración son zanjas anchas mayores de 90 cm, que pueden contener más de una línea de tuberías de distribución (**figura 12.7**). En este caso se considera que la superficie principal de infiltración, para el diseño, es el área del fondo del lecho y el lecho, se calcula con los valores de la **tabla 12.2**.

Los lechos de percolación requieren generalmente menos terreno que las zanjas y su construcción tiene un costo menor. Son aceptables en terrenos planos, con pendiente menor del 10%, de suelos arenosos, de arenas margosas o de suelos granulares.

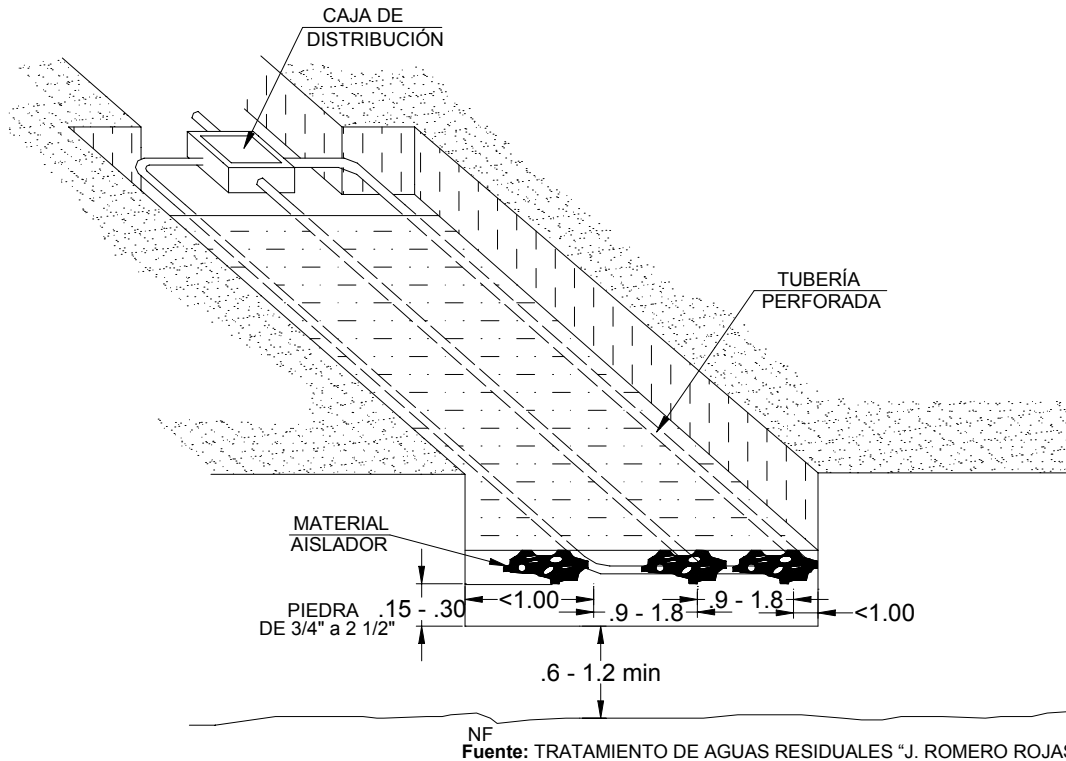


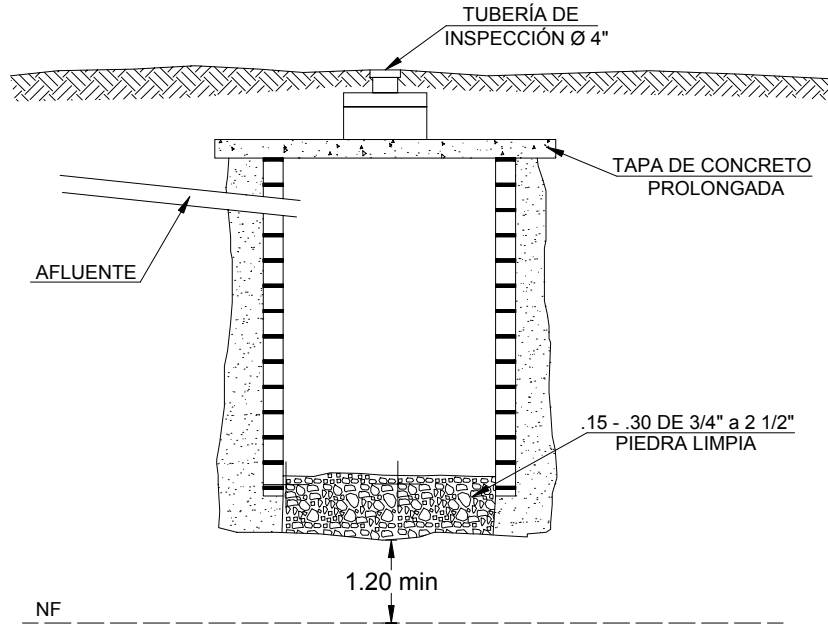
Figura 12.7 Lecho típico de infiltración (Unidades métricas).

REQUISITOS DE CONSTRUCCIÓN

- El lecho debe tener una profundidad mínima de 60 cm por debajo del nivel natural del terreno, para permitir un recubrimiento mínimo de tierra de 30 cm.
- El lecho debe tener una profundidad mínima de 30 cm de grava, que se extienda por lo menos 3 cm sobre la tubería de distribución y 15 cm por debajo de la tubería de distribución.
- El fondo del lecho y la tubería perforada de distribución deben colocarse a nivel.
- Las tuberías para distribución del efluente deben separarse una distancia máxima de 1.8 m y colocarse a una distancia de máximo 1 m desde las paredes laterales del lecho.
- Si existe mas de un lecho debe dejarse un mínimo de terreno inalterado de 1.8 m entre lechos adyacentes.

12.3.3 Pozos de infiltración

Los pozos de infiltración son excavaciones profundas usadas para disposición subsuperficial de aguas residuales pretratadas (**figura 12.8**). Las paredes del pozo se construyen con ladrillo, bloques anillos o materiales prefabricados colocados a junta abierta, rodeados de grava o piedra triturada. El agua residual entra en el pozo y se infiltra a través de las paredes laterales. Su uso es menos recomendado que el de las zanjás de percolación, pero constituyen un método aceptable de disposición de aguas residuales cuando la disponibilidad de terreno es muy limitada y no existe suficiente área para un lecho de zanjás.



Fuente: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "J. ROMERO ROJAS", 2000
Figura 12.8 Pozo típico de percolación (Unidades métricas).

Los criterios de diseño son los mismos que para zanjas de infiltración. Para protección del agua subterránea se aconseja dejar una separación entre el fondo del pozo y el nivel freático de 1.2 m como mínimo. Para diseño del pozo de infiltración se utilizan los resultados del ensayo de percolación y los mismos valores de tasas de aplicación que para zanjas de absorción. Como en los pozos de percolación la superficie de infiltración dominante es la pared lateral, la profundidad y el diámetro del pozo se calculan para el área lateral de pozo y para el caudal de aguas residuales afluyente.

EJEMPLO

Para un caudal de $1\text{ m}^3/\text{d}$ y una percolación de 6 min/cm , de la **tabla 12.2** se obtiene que la tasa aceptable de aplicación es de $32\text{ L/m}^2\text{d}$. Por tanto el área lateral del pozo es de:

$$A = \frac{1000}{32} = 31.25 [\text{m}^2]$$

Suponiendo que la profundidad del nivel freático, desde la superficie, es de 8 m , se puede utilizar una profundidad efectiva del pozo de absorción de 6 m . Por tanto con un pozo de diámetro igual a 1.5 m se requiere una altura h de:

$$h = \frac{31.25}{\pi \times 1.5} = 6.6 < 8 [\text{m}]$$

Una solución alternativa sería construir dos pozos de 1.5 m de diámetro con profundidad h de:

$$h = \frac{31.25}{2 \times \pi \times 1.5} = 3.3 [\text{m}]$$

Cuando se usa más de un pozo de percolación, los pozos deben estar separados una distancia entre sí equivalente a tres diámetros del pozo de mayor diámetro, y para pozos de más de 6 m de profundidad, la distancia mínima entre pozos debe ser de 6 m . Los pozos de percolación, en

general, son circulares. La excavación debe hacerse con el suelo seco; sobre el fondo se debe colocar un lecho de grava limpia de mínimo 30 cm, para proveer fundación al revestimiento. El revestimiento de las paredes laterales del pozo se hace con mampostería seca, colocada con cuidado, sin intentar dejar conscientemente aberturas o boquetes entre las juntas. Los materiales preferidos son bloques de ladrillo o de concreto, formando una pared de unos 10 cm de espesor. El diámetro exterior de las paredes de recubrimiento debe ser, por lo menos, 15 cm menor que el diámetro mínimo de la excavación y el espacio anular sobrante se debe rellenar con grava o piedra limpia hasta el nivel superior del pozo. La tapa o cobertura del pozo puede ser de concreto o de ladrillo, soportada sobre el terreno natural en una longitud que sobrepase, por lo menos, en 15 cm el borde de la excavación.

12.3.4 Montículos

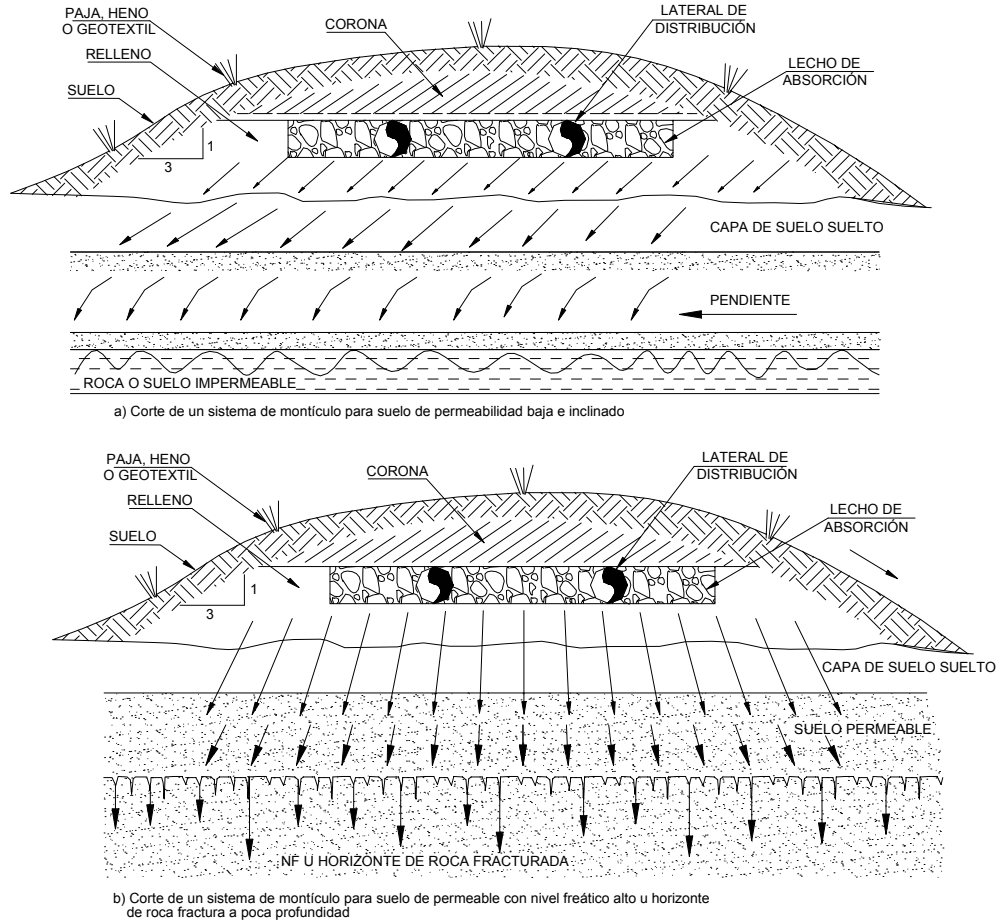
El sistema de montículo es un sistema de absorción, elevado sobre la superficie natural del suelo mediante un relleno de material apropiado. El sistema fue desarrollado para superar problemas de disposición en áreas rurales con suelos de permeabilidad baja y con niveles freáticos altos. El propósito es, por tanto, superar restricciones *in situ* de suelos de permeabilidad baja y suelos permeables de poco espesor sobre horizontes de roca fracturada o porosa y suelos permeables con nivel freático alto (**figuras 12.9 y 12.10**). El efluente es bombeado o sifoneado al área de absorción a través de una red de distribución localizada en la parte superior del agregado grueso, luego pasa por entre el agregado y se infiltra dentro del material de relleno. El tratamiento del agua residual ocurre a medida que el agua pasa por entre el material de relleno y por entre la zona no saturada de suelo natural. La corona provee protección contra la precipitación y retiene la humedad para una buena cobertura vegetal. La zona superior del suelo sirve como medio de crecimiento de la vegetación. El suelo para un montículo debe estar bien drenado, con pendientes generalmente menores del 12 %. La profundidad de suelo no saturado, entre la superficie original del terreno y el horizonte saturado o de roca fracturada, debe ser de 0.5 a 0.6 m, la profundidad al horizonte impermeable de 0.9 a 1.5 m y la tasa de percolación menor de 48 mm/cm, medida a una profundidad de 30 a 50 cm. Para el diseño de un montículo se debe seleccionar un material de relleno apropiado porque esta condición determina la capacidad de infiltración y, por tanto, el área del lecho de absorción requerida. Los materiales de relleno más usados y su correspondiente tasa de infiltración de diseño se incluyen en la **tabla 12.3**.

El área de absorción dentro del montículo puede ser un lecho o zanjas de infiltración. El montículo debe localizarse con su eje longitudinal paralelo a las curvas de nivel, con el objeto de minimizar la percolación desde la base del montículo. El cálculo de las dimensiones del montículo y de los requerimientos de distribución del agua residual puede consultarse en la **figura 12.10**.

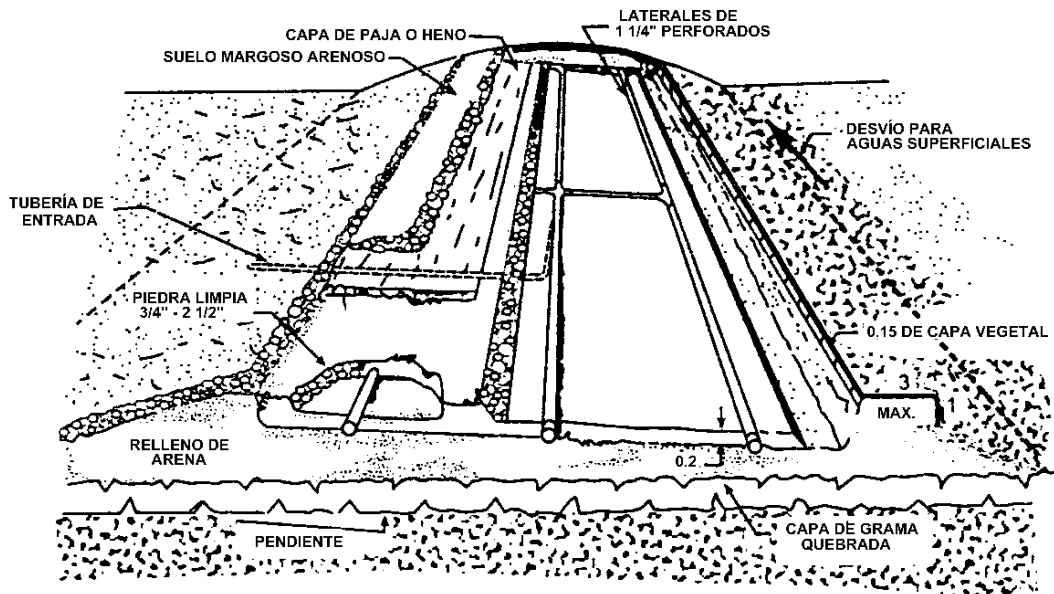
Tabla 12.3 TASAS DE INFILTRACIÓN DE DISEÑO PARA MATERIALES COMUNES DE RELLENO

MATERIAL DE RELLENO	CARACTERÍSTICAS	TASA DE INFILTRACIÓN [L/m ² d]
Arena media	0.25 - 2 mm 0.05 - 25 mm 0.002 - 0.05 mm	49
Marga arenosa	Contenido de arcilla	24
Mezcla de arena y marga arenosa	Arena Material de grano mas liso	49

Fuente: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "J. ROMERO ROJAS", 2000



Fuente: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "J. ROMERO ROJAS", 2000
Figura 12.9 Sistemas típicos de montículo (Unidades métricas).



Fuente: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "J. ROMERO ROJAS", 2000
Figura 12.10 Esquema de un sistema típicos de montículo (Unidades métricas).

12.4 Filtros intermitentes de arena

Los filtros intermitentes de arena son lechos de material granular, de 60 a 90 cm de profundidad, soportados por un lecho de grava y una tubería de recolección. El agua se aplica sobre el lecho mediante tubos o canaletas y se distribuye uniformemente sobre todo el filtro, inundando la superficie del mismo. Los filtros pueden ser filtros abiertos o descubiertos de acceso libre, o filtros cubiertos o enterrados. También existen los filtros con recirculación de efluente.

El filtro depura el agua mediante la acción conjunta de mecanismos físicos, químicos y biológicos aún no muy bien conocidos. El filtro atrapa, absorbe, retiene, sedimenta, asimila y transforma bioquímicamente los materiales del agua residual. Sin la asimilación del material filtrado y adherido por el crecimiento biológico, el proceso no produce un efluente de buena calidad.

Para evitar taponamiento del filtro, el agua aplicada debe sedimentarse de manera previa, por lo menos en un tanque séptico. El medio filtrante recomendado, generalmente, es arena de un tamaño efectivo de 0.25 a 1.5 mm y un coeficiente de uniformidad menor de 4.0. *Un medio granular muy grueso disminuye el tiempo de retención en el filtro y puede hacer inadecuada la descomposición biológica; un medio muy fino limita la carga hidráulica y conduce a un taponamiento eventual prematuro.* El medio filtrante más usado es arena, pero también se han utilizado antracita, granate, ilmenita, carbón activado y desechos minerales.

En todos los casos el medio debe ser durable, limpio e insoluble en agua, el contenido orgánico inferior al 1% y la solubilidad en ácido menor del 3%.

La carga hidráulica normalmente recomendada es de 0.03 a 0.6 m/d y, por lo general, la literatura no incluye recomendaciones sobre carga orgánica. La profundidad de la arena oscila entre 60 y 100 cm.

El uso de una profundidad baja de arena disminuye el costo de construcción, aunque el uso de filtros más profundos permite remover medio filtrante, para limpieza, sin necesidad de reemplazarlo inmediatamente.

La dosificación es un factor muy importante para lograr un buen efluente. Debe ser uniforme a través de toda la sección transversal del filtro y proveer un período de reposo entre aplicaciones lo suficientemente largo para obtener condiciones aerobias y acción biológica adecuada.

En filtros pequeños, el agua residual se aplica en dosis suficientes para inundar por completo la superficie del filtro con mínimo 8 cm de agua. Generalmente se usa una frecuencia de dosificación de una vez al día, pero con medio de tamaño efectivo > 0.45 mm, la eficiencia en remoción de DBO aumenta cuando la frecuencia es > 2 veces/día.

Las técnicas de mantenimiento incluyen:

- Reposo del filtro por un lapso determinado
- Rastrillado de la capa superficial para romper la corteza superior
- Remoción de la capa superficial y reemplazo con medio limpio

En la **tabla 12.4** se incluyen algunos resultados de operación de filtros intermitentes de arena.

En las **tablas 12.5 y 12.6** se muestran los criterios de diseño para filtros intermitentes de arena superficiales y enterrados, respectivamente.

Tabla 12.4 RESULTADOS DE ORACIÓN DE FILTROS INTERMITENTES DE ARENA, ENTERRADOS, CON EFLUENTE DE TANQUES SÉPTICOS.

CARACTERÍSTICAS DEL FILTRO				CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE			
TE [mm]	CU	CH [m/d]	PROFUNDIDAD [cm]	BDO [mg/L]	SS [mg/L]	NH ₃ -N [mg/L]	NO ₃ -N [mg/L]
0.24	3.9	0.04	75	2.0	4.4	0.3	25
0.30	4.1	0.04	75	4.7	3.9	3.8	23
0.60	2.7	0.04	75	3.8	4.3	3.7	27
1.0	2.1	0.04	75	4.3	4.9	3.7	24
2.5	1.2	0.04	75	8.9	12.9	6.7	18
0.17	11.8	0.008	100	1.8	11.0	1.0	32
0.23 - 0.36	2.6 - 6.1	0.047	60	4	12	0.7	17

Fuente: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "J. ROMERO ROJAS", 2000

Tabla 12.5 CRITERIOS DE DISEÑO PARA FILTROS DE ARENA INTERMITENTES SUPERFICIALES.

CARACTERÍSTICAS	CRITERIO
Pretratamiento	Tanque séptico o equivalente
Carga hidráulica	0.08 - 0.20 [m/d]
Medio	Material granular lavado
Contenido orgánico	<1%
Tamaño efectivo	0.35 - 1.0 [mm]
Coefficiente de uniformidad	<4.0
Profundidad	60 - 90 [mm]
Drenaje	Ø ≥ 4"
Material	Tubería perforada a junta abierta
Pendiente	0.5 - 1 %
Cama	Piedra triturada de 1/4" a 1.5"
Ventilación	Extremo agua arriba
Distribución	Canales superficiales, aspersores
Distribución	Anegamiento hasta 5 [cm]>2 veces/d

Fuente: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "J. ROMERO ROJAS", 2000

Tabla 12.6 CRITERIOS DE DISEÑO PARA FILTROS DE ARENA INTERMITENTES ENTERRADOS.

CARACTERÍSTICA	CRITERIO
Pretratamiento	Tanque séptico
Carga hidráulica	0.04 - 0.08 [m/d]
Medio	Material granular lavado
Contenido orgánico	<1%
Tamaño efectivo	0.5 - 1.0 [mm]
Coefficiente de uniformidad	<4.0
Profundidad	60 - 90 [cm]
Drenaje	Ø ≥ 4"
Material	Tubería perforada o junta abierta
Pendiente	0.5 - 1%
Cama	Piedra triturada de 1/4" a 1/5"
Ventilación	Extremo de aguas arriba
Distribución	Ø ≥ 4"
Material	Tubería perforada o junta abierta
Cama	Piedra triturada de 3/4" a 2.5"
Ventilación	extremo de aguas arriba
Dosificación	Anegamiento de litro,> 2 veces/d

Fuente: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "J. ROMERO ROJAS", 2000

12.5 Sistema de distribución a presión para filtros de arena

El sistema de distribución debe dimensionarse para que la descarga por cada orificio del sistema sea aproximadamente la misma. Lo anterior se logra ajustando el tamaño de la tubería de distribución, en tal forma que la pérdida de energía en la tubería sea mínima en comparación con la pérdida de energía a través de los orificios. Se supone:

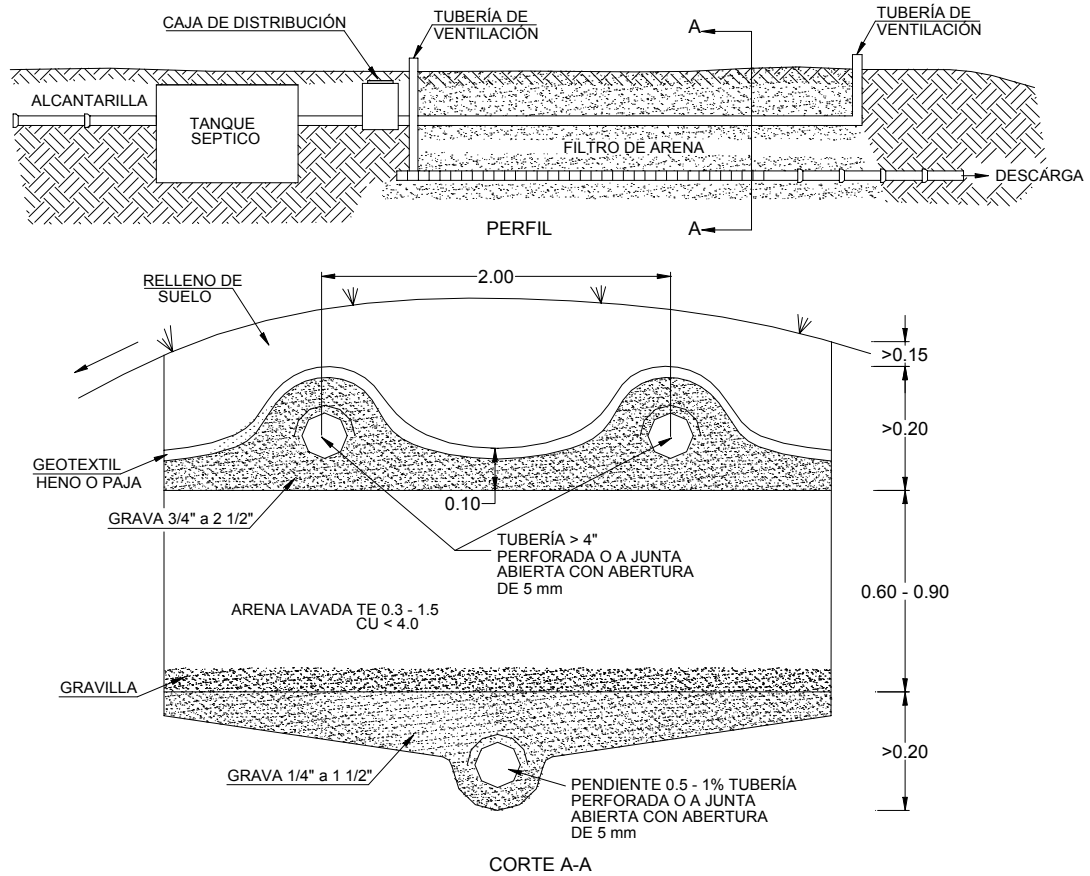
$$\text{Caudal en cualquier orificio: } q_n = mq_1$$

Donde: m : fracción decimal, < 1
 q_1 : caudal del primer orificio

La descarga por el orificio n se calcula por la **ecuación 12.1**

$$q_n = C_d D^2 \sqrt{2gh_n} \quad (12.1)$$

Donde: q_n : descarga por el orificio n , $[m^3/s]$
 C_d : coeficiente de descarga; 0.61 generalmente.
 D : diámetro del orificio, $[m]$
 g : $9.81 [m/s^2]$
 h_n : energía en el orificio n , $[m]$



Fuente: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "J. ROMERO ROJAS", 2000

Figura 12.11 Filtro intermitente de arena enterrado (Unidades métricas).

$$h_n = \left[\frac{1}{2gC_d^2 D^4} \right] q_n^2 = kq_n^2 = k(mq_1)^2 = m^2 h_1 \quad (12.2)$$

Donde: k : constante
 h_1 : energía sobre el orificio uno, [m]

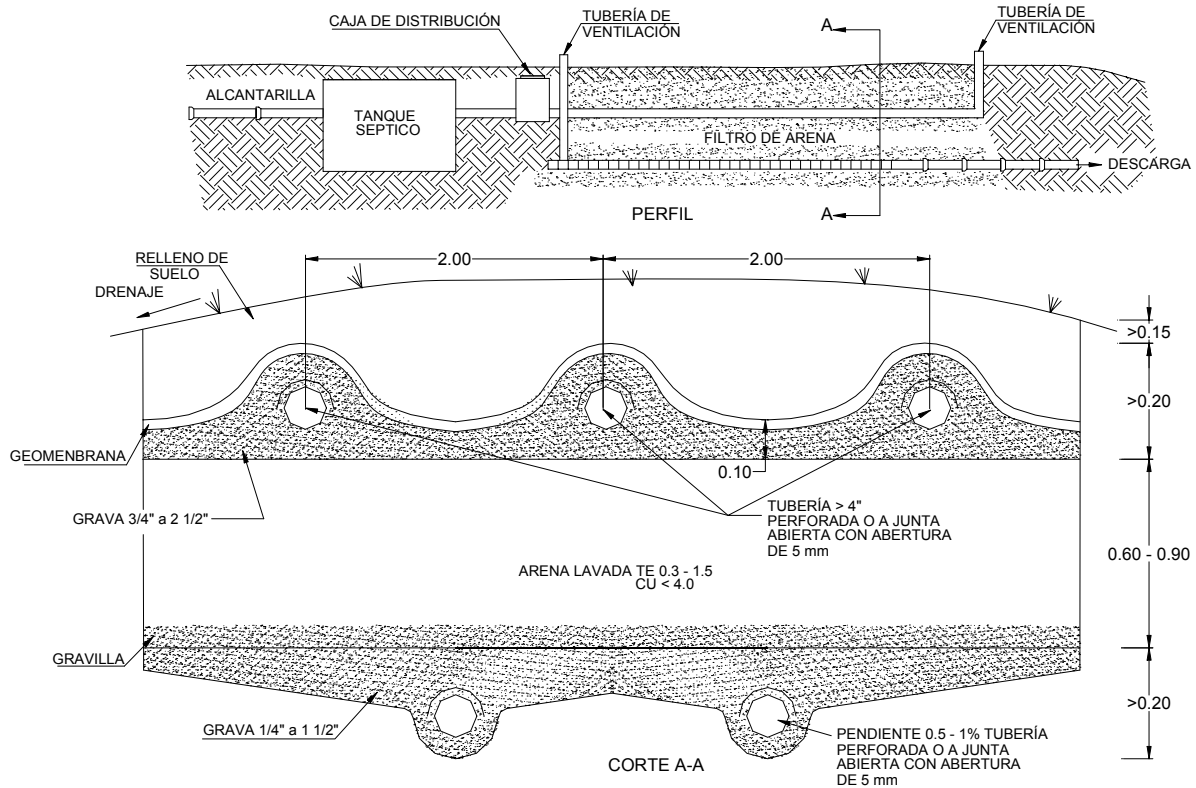
La pérdida de energía entre el orificio uno y el n es $\Delta h_{(1-n)}$

$$\Delta h_{(1-n)} = h_1 - h_n \quad (12.3)$$

La pérdida de energía entre el primero y el ultimo orificios de una tubería de distribución con orificios separados una distancia constante entre si es h_{fTD}

$$h_{fTD} = h_{fT} = \Delta h_{(1-n)} \quad (12.4)$$

Donde: h_{fTD} : pérdida de energía real en la tubería de distribución, [m]
 h_{fT} : pérdida de energía en la tubería sin orificios, [m]



Fuente: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "J. ROMERO ROJAS", 2000

Figura 12.12 Filtro intermitente de arena enterrado (Unidades métricas).

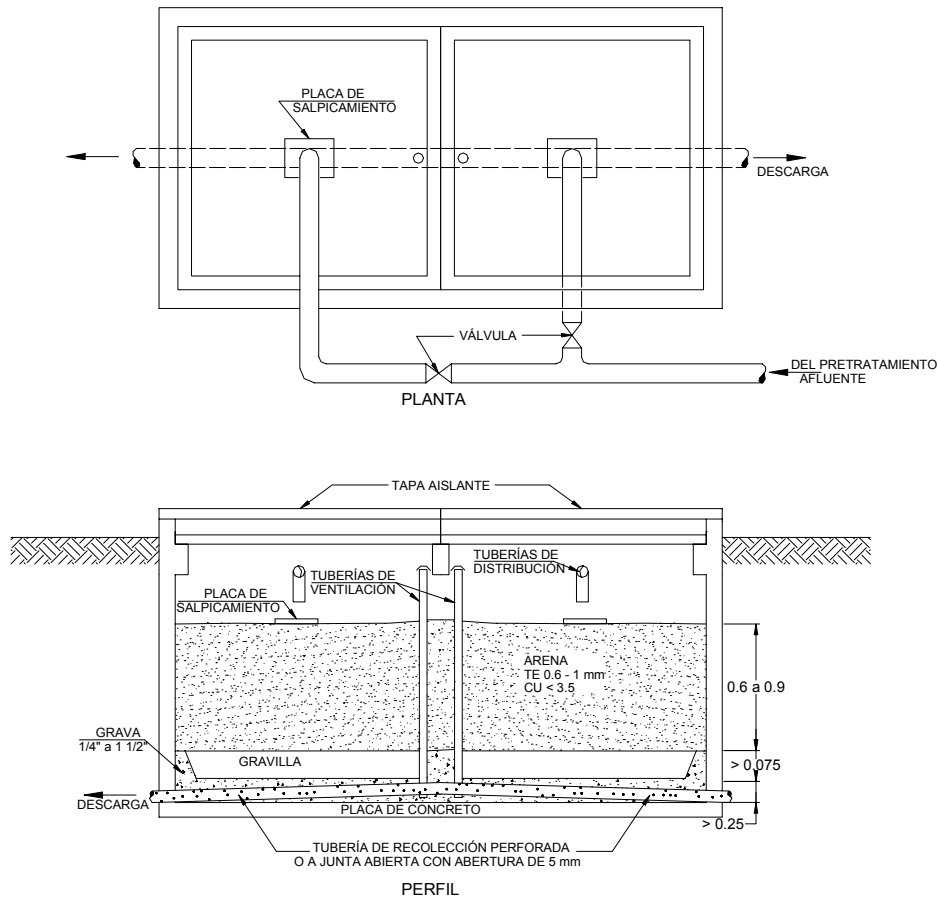
La pérdida h_{fT} se calcula por la formula de Hazen Williams.

$$h_{fT} = 2.09(L_{1-n}) \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.85} D^{-4.87} \quad (12.5)$$

Donde: h_{fT} : pérdida de energía en la tubería desde el orificio uno hasta el n , [m]
 L_{1-n} : longitud de la tubería entre el orificio uno y el n , [m]

Q : caudal de la tubería, [m³/s]
 C : coeficiente de la tubería
 D : diámetro interno de la tubería, [m]

El valor de m debe ser mayor de 0.98 para que la diferencia de caudales en los orificios no exceda el 2%. Si m es < 0.98 se puede incrementar el tamaño de la tubería y rediseñar.



Fuente: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "J. ROMERO ROJAS", 2000

Figura 12.13 Filtro intermitente de arena superficial (Unidades métricas).

EJEMPLO

Dimensionar un filtro intermitente de arena y su sistema de distribución a presión para los siguientes requerimientos:

- Caudal = 730 [L/d]
- $m > 0.98$
- Tasa de filtración = 24 [L/m²d]
- Tasa de dosificación = 4 [veces/d]
- Diámetro de orificios = 3 [mm]
- Energía sobre los orificios ≥ 1.5 [m]

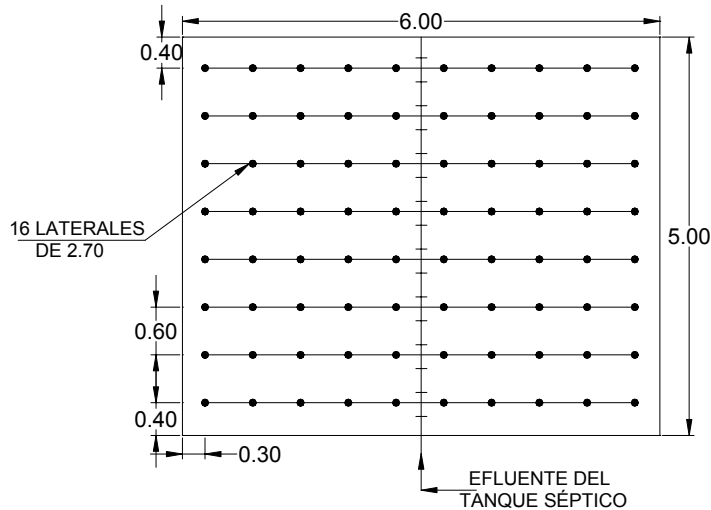
SOLUCIÓN:

- Se calcula el área del filtro.

$$A = \frac{730}{24} = 30.41 \approx 30 \text{ [m}^2\text{]}$$

- Se adopta como dimensiones del filtro = 6 x 5 [m]
- Se adopta un espaciamiento entre orificios de 0.60 [m]
- Se adopta un espaciamiento entre tuberías de 0.60 [m]

Esquemáticamente el sistema de distribución será como se muestra a continuación.



Fuente: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES “J. ROMERO ROJAS”, 2000

Figura 12.14 Sistema de distribución (Unidades métricas).

- Habrá 16 laterales de 2.7 m cada uno, con cinco orificios espaciados 0.6 m centro a centro.
- Se intenta usar tubería de 1" = 2.54 cm
- Se calcula el flujo por dosis.

$$\frac{\text{flujo}}{\text{dosis}} = \frac{730}{4} = 182.5 \text{ [L / dosis]}$$

- Se calcula el flujo por lateral.

$$\frac{\text{flujo}}{\text{lateral}} = \frac{182.5}{16} = 11.40 \text{ [L / lateral . dosis]}$$

- Se calcula el caudal en el último orificio de cada lateral.

$$q_n = C_d D^2 \sqrt{2gh_n} = 0.61(0.003)^2 \sqrt{2 \times 9.81 \times 1.5} (1000)(60)$$

$$q_n = 1.79 \text{ [L/m]}$$

- Se calcula el caudal total en cada lateral, con base en cinco orificios por lateral.

$$5 q_n = 5 \times 1.79 = 8.93 \text{ [L/min . latetal]}$$

- Se calcula la pérdida de energía en el lateral sin orificios, para un $C = 150$

$$h_{IT} = 2.09(L_{1-n}) \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.85} D^{-4.87}$$

$$h_{fT} = 2.09(2.7) \left(\frac{0.00893}{60 \times 150} \right)^{1.85} 0.0254^{-4.87} (100) = 0.26 \text{ [cm]}$$

- Se calcula la pérdida de energía real en la tubería de distribución.

$$h_{fTD} = \frac{1}{3} h_{fT} = \Delta h_{1-n}$$

$$h_{fTD} = \frac{1}{3} (0.26) = 0.09 \text{ [cm]}$$

- Se determina la diferencia en la descarga entre el primero y el último orificios en cada lateral. La energía en el primer orificio está dada por la **ecuación 12.3**.

$$\Delta h_{(1-n)} = h_1 - h_n$$

$$h_1 = h_n + \Delta h_{(1-n)}$$

$$h_1 = 150 + 0.09 = 150.09 \text{ [cm]}$$

- Se calcula el valor de m por la **ecuación 12.2**.

$$h_n = m^2 h_1$$

$$m = \sqrt{\frac{h_n}{h_1}} = \sqrt{\frac{150}{150.09}} = 0.9997$$

- La diferencia en la descarga entre el primero y el último orificios, en cada lateral es:

$$(1 - 0.9997)100 = 0.03\%$$

El valor anterior es muy inferior al 2% requerido. Por lo tanto el diseño es aceptable.

12.6 Tanque séptico - Filtro anaerobio

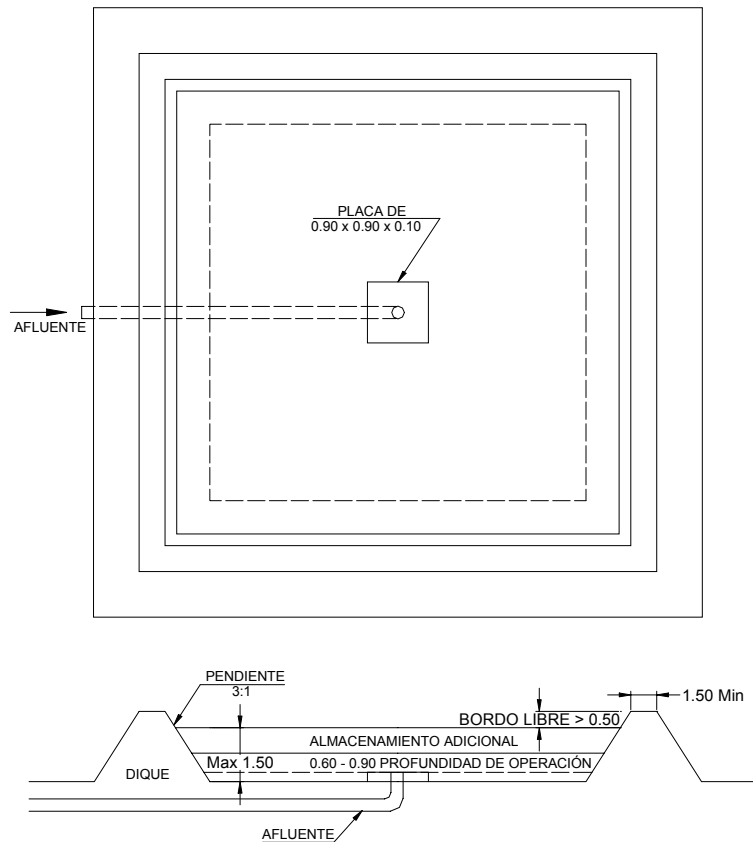
Una de las alternativas para dar un tratamiento complementario al efluente de un tanque séptico es la del filtro anaerobio. En este caso el filtro se coloca después del tanque séptico (**figura 12.15**).

Para el dimensionamiento del filtro anaerobio se usa generalmente un volumen unitario de 0.05 m^3 por habitante servido, un lecho filtrante de 40 cm de gravas pequeñas de 12 a 18 mm en el fondo y una capa superior de 10 cm de espesor, de arenas gruesas y gravas finas de 3 a 6 mm. Sin embargo, se considera que la altura óptima de medio es de 120 cm. La pérdida de energía hidráulica en el filtro es de 3 a 15 cm, en condiciones normales de operación. En estas condiciones se puede esperar un rendimiento del 70% en remoción de DBO una operación satisfactoria, sin mantenimiento, durante 18 a 24 meses.

12.7 Laguna de evaporación / infiltración

Este sistema se ha utilizado en áreas rurales, donde no es posible hacer disposición por campos de infiltración, existe suficiente área disponible y los factores climáticos como luz solar, circulación del viento, humedad y potencial neto de evaporación son favorables.

Estas lagunas pueden ser circulares o rectangulares, la profundidad máxima de agua residual es de 0.9 a 1.3 m, con un bordo libre de 0.6 a 0.9 m. La profundidad mínima de agua residual es de 0.6 m y el tamaño oscila entre 0.07 y 0.57 m²/cd según el clima y, la permeabilidad del suelo. Las dimensiones típicas se indican en la **figura 12.15**. Para prevenir problemas de olores, se recomiendan cargas de **DBO** en el rango de 12 a 40 kg/ha.d. El diseño se hace con base en el caudal afluente, precipitación evaporación e infiltración local, y verificación de la existencia de capacidad suficiente para almacenar el agua que excede la tasa de evaporación e infiltración durante períodos húmedos.



Fuente: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "J. ROMERO ROJAS", 2000

Figura 12.15 Laguna típica de evaporación/infiltración (Unidades métricas).

EJEMPLO

Diseñar una laguna de evaporación (sin infiltración) para un caudal de 1 m³/d en un sitio árido con una precipitación anual de 20 cm y una evaporación anual de 120 cm.

SOLUCIÓN

- Se calcula la evaporación neta anual.

$$E = 120 - 20 = 100 \text{ [cm/año]}$$

- Se calcula la evaporación neta anual por m² de superficie de agua.

$$E = \left(100 \frac{\text{cm}}{\text{año}}\right) \left(\frac{1 \text{ cm}}{100 \text{ cm}}\right) \left(1 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^2}\right) = 1.0 \text{ [m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{año]}$$

- Se calcula el área requerida de laguna.

$$A = \frac{1 \times 365}{1.0} = 365 \text{ [m}^2\text{]}$$

- Para asegurar una capacidad adecuada de almacenamiento en invierno, que no exceda una altura de agua de 1.5 m en la laguna, se debe verificar el balance hídrico para evaporación mensual en la laguna como se indica en la **tabla 12.7**.
- De la **tabla 12.7** se deduce que desde enero hasta julio la laguna gana 147 m³ de volumen, equivalente a una ganancia en altura de:

$$\frac{147}{365} = 0.40 \text{ [m]}$$

El valor anterior permite operar la laguna con profundidad mínima de 0.6 m y máxima de 1.0 m.

- El área per cápita por día de laguna para una población equivalente de siete personas es:

$$\frac{365}{365 \times 7} = 0.14 \text{ [m}^2 \text{ / cd]}$$

- La carga orgánica para una población equivalente de siete personas con DBO de 40 g/cd es:

$$\frac{7 \times 40 \times 10^{-3}}{365 \times 10^{-4}} = 8 \text{ [kg DBO / ha} \cdot \text{d]}$$

Tabla 12.7 BALANCE HÍDRICO DE LA LAGUNA DE EVAPORACIÓN

MES	AFLUENTE [m ³]	PRECIPITACIÓN [cm]	EVAPORACIÓN [cm]	P - E [cm]	P - E [m ³]	FLUJO NETO [m ³]	VOLUMEN ACUMULADO [m ³]
Enero	31	1.5	6	-4.5	-16	15	15
Febrero	28	1.8	5	-3.2	-12	16	31
Marzo	31	2.3	4	-1.7	-6	25	56
Abril	30	2.0	2	0	0	30	86
Mayo	31	2.0	2	0	0	31	117
Junio	30	1.8	4	-2.2	-8	22	139
Julio	31	1.8	8	-6.2	-23	8	147
Agosto	31	1.5	13	-11.5	-42	-11	136
Septiembre	30	1.5	15	-13.5	-49	-19	117
Octubre	31	1.0	24	-23	-84	-53	64
Noviembre	30	1.0	24	-23	-84	-54	10
Diciembre	31	1.8	13	-11.2	-41	-10	0
TOTAL	365	20.0	120				

Fuente: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "J. ROMERO ROJAS", 2000

12.8 Opciones de reutilización de efluentes

Algunos tipos de reutilización de efluentes se exponen a continuación:

- Irrigación agrícola
- Irrigación ornamental
- Reutilización industrial
- Lagos recreacionales

- Recarga de aguas subterráneas
- Humedales
- Usos varios
- Aumento en el suministro de agua potable

Estas opciones de reutilización se abordarán a continuación:

IRRIGACIÓN AGRÍCOLA

La irrigación de cultivos es uno de los tipos más antiguos y comunes de reutilización de efluentes. Los cultivos irrigados incluyen árboles, pastos, maíz, alfalfa y otros cultivos alimenticios, forrajes, y cultivos de fibra. Los cultivos alimenticios también están siendo irrigados con efluentes de tratamientos terciarios desinfectados.

Las consideraciones de calidad del agua para reutilización en irrigación agrícola incluyen nutrientes, salinidad, relación de adsorción de sodio y elementos traza que tendrán ser mejor estudiadas.

IRRIGACIÓN ORNAMENTAL

La irrigación ornamental, también referida a la reutilización urbana, incluye irrigación de:

- Parques
- Jardines
- Campos de golf
- Separadores de grandes vías
- Zonas verdes alrededor de edificaciones comerciales, ejecutivas e industriales
- Zonas verdes alrededor de residencias

Muchos de los proyectos de irrigación ornamental incluyen sistemas duales de distribución: una red para agua potable y otra para agua tratada. Los sistemas de distribución de agua reciclada ocupan el tercer lugar en utilidad después de los sistemas de aguas residuales y los sistemas de agua potable; son operados, mantenidos y administrados en la misma forma que los sistemas de agua potable.

Las consideraciones sobre la calidad del agua para irrigación ornamental son muy similares a las de la irrigación agrícola, como se describió anteriormente tendrán ser mejor estudiadas.

REUTILIZACIÓN INDUSTRIAL

La reutilización de aguas residuales tratadas, en procesos industriales o como agua de enfriamiento.

La industria ha hecho uso del agua reciclada principalmente para procesos de enfriamiento, procesamiento del agua para alimentación de calderas, e irrigación y mantenimiento de los suelos de las plantaciones. El enfriamiento del agua, tanto para torres como para estanques de enfriamiento, crea la mayor demanda de agua en muchas industrias y es la principal aplicación industrial. Los aspectos de consideración en el uso del agua para su enfriamiento incluyen incrustaciones, corrosión, crecimiento biológico y obstrucciones.

LAGOS RECREACIONALES

Los lagos recreacionales pueden servir para una variedad de funciones, desde estéticas, usos sin contacto, hasta pesca, remo y natación. El nivel de tratamiento requerido varía con la intención del uso y el grado de contacto público. La apariencia del agua tratada también es un aspecto de

importancia, ya que los nutrientes presentes en el agua reciclada estimulan el crecimiento de algas y plantas acuáticas. En general, la remoción de fósforo y posiblemente de nitrógeno, es necesaria para prevenir el crecimiento de las algas en los lagos recreacionales. Sin el control de nutrientes, existe un alto potencial de florecimiento de algas, de las cuales resultan malos olores y mala apariencia.

Las represas de agua reciclada pueden ser incorporadas en los desarrollos ornamentales urbanos. Los lagos artificiales, así como los campos de golf, pueden ser surtidos con agua reciclada.

RECARGA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La recarga de las aguas subterráneas provee una pérdida de identidad entre el agua reciclada y el agua subterránea. Esta pérdida de identidad tiene un impacto psicológico positivo cuando se planea la reutilización. Las restricciones y la poca voluntad de hacer uso de aguas recicladas pueden ser superadas por la recarga de aguas subterráneas y su subsecuente recuperación.

Algunos de los propósitos para la recarga de aguas subterráneas son:

- Establecimiento de barreras contra la intrusión de aguas marinas
- Provisión para futuros tratamientos y reutilización
- Provisión para almacenamiento subterráneo
- Aumento de acuíferos potables y no potables
- Control o prevención de asentamientos del suelo

La recarga de aguas subterráneas puede estar acompañada tanto de riego superficial como de inyección. Las técnicas de riego superficial, la inyección de agua al subsuelo deberán ser mejor estudiadas.

HUMEDALES

Los humedales naturales o artificiales pueden hacer uso del agua reciclada. Los humedales proveen muchas funciones de gran valor: atenuar inundaciones, brindar un hábitat para la vida salvaje y las aves acuáticas, proveer productividad para garantizar las cadenas alimenticias, recargar acuíferos, así como mejorar la calidad del agua. La diferencia entre un humedal "construido" y uno "creado" radica en que el humedal construido es concebido como una unidad de tratamiento que puede ser modificado o abandonado después de que su vida útil se haya cumplido. Por otro lado, un humedal creado se convierte en un área que será mantenida y protegida para dar beneficios permanentes a la vida salvaje allí presente.

El agua purificada se ha utilizado en humedales por varias razones, dentro de las cuales se encuentran:

- Creación, restauración y mejoramiento del hábitat.
- Provisión para tratamientos adicionales previos a la descarga al agua receptora.
- Una alternativa de disposición para el agua reciclada en tiempos húmedos.

USOS VARIOS

Existe una gran variedad de usos para el agua recuperada, entre ellos están:

- Descarga de sanitarios.
- Abastecimiento de lavanderías públicas o comerciales.
- Lucha contra incendios.
- Agua para construcción.

- Limpieza de alcantarillados sanitarios.
- Fabricación de nieve.
- Limpieza de agregados y elaboración de concreto.

AUMENTO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

Los abastecimientos de agua potable pueden ser aumentados con agua recuperada; sin embargo, para pequeños sistemas, usualmente los prospectos son limitados.

12.9 Desinfección de aguas residuales

La desinfección se refiere a la destrucción selectiva de los organismos causantes de enfermedades en oposición a la esterilización, en la cual se destruyen todos los organismos. La desinfección de aguas residuales tratadas es de fundamental importancia en el manejo de este recurso.

La desinfección normalmente se realiza por: 1) agentes químicos, 2) agentes físicos, 3) medios mecánicos, y 4) radiación. Los agentes y medios individuales que se han utilizado en cada categoría son los siguientes:

Agentes químicos:

- Cloro y sus compuestos
- Bromo
- Yodo
- Ozono
- Fenol y compuestos fenólicos
- Alcoholes
- Metales pesados y compuestos relacionados
- Tinturas
- Jabones y detergentes sintéticos
- Componentes de amonio cuaternarios
- Peróxido de hidrógeno
- Alcalis y ácidos

Agentes físicos:

- Calor (por ejemplo calderas)
- Luz (radiación ultravioleta)

Medios mecánicos:

- Procesos de tratamiento individuales

Radiación:

- Electromagnética
- Acústica
- Particular

Con respecto a este listado, las tecnologías de desinfección consideradas anteriormente incluyen tres en las que se utilizan agentes químicos (cloro, hipoclorito y ozono) y una en la que se utilizan agentes físicos (radiación UV).

12.10 Futuro de la reutilización del agua

Se espera que la reutilización del agua aumente en el futuro tanto para sistemas de manejo de tratamiento de aguas residuales descentralizados como centralizados. Para sistemas centralizados, la reutilización de agua libera el suministro de agua para usos municipales e industriales. Se espera que la irrigación paisajística, el suministro contra incendios y otros usos no potables aumenten a medida que la demanda por fuentes potables se incremente. Para sistemas descentralizados pequeños e individuales la irrigación ornamental continuará siendo la principal opción de reutilización. En instalaciones comerciales e industriales aisladas, la descarga de inodoros en edificios con sistemas de tubería duales, y el uso para irrigación paisajística continuará. Para maximizar la reutilización de aguas residuales tratadas cerca del punto de generación, aumentará el número de plantas de tratamiento satélite.