

MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO

DISEÑO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES: SANEAMIENTO BÁSICO

37



MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO

DISEÑO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES: SANEAMIENTO BÁSICO

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento
Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Saneamiento básico

ISBN en tramite

D.R. © Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209 Col. Jardines en la Montaña
C.P. 14210, Tlalpan, México, D.F.

Comisión Nacional del Agua
Insurgentes Sur No. 2416 Col. Copilco El Bajo
C.P. 04340, Coyoacán, México, D.F.
Tel. (55) 5174•4000

Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento

Impreso y hecho en México.

Distribución gratuita. Prohibida su venta.

Queda prohibido su uso para fines distintos al desarrollo social.

Se autoriza la reproducción sin alteraciones del material contenido en esta obra,
sin fines de lucro y citando la fuente.

CONTENIDO

Presentación	V
Objetivo general	VII
Introducción al Saneamiento Básico	IX
1. Letrinas	1
1.1. Tipos de letrinas	1
1.1.1. Letrina tradicional simple	3
1.1.2. Letrina mejorada de fosa ventilada	6
1.1.3. Letrina de arrastre hidráulico	7
1.1.4. Letrina de fosa elevada	8
1.1.5. Letrinas prefabricadas	10
1.1.6. Letrina seca ventilada de dos cámaras	10
1.1.7. Letrina multrum	15
1.2. Ubicación y orientación de la letrina	16
1.3. Distancia segura de las letrinas con respecto a las fuentes de agua para consumo humano	17
1.4. Factores para seleccionar el tipo de letrina	18
1.4.1. Condiciones físicas	18
1.4.2. Condiciones económicas	19
1.4.3. Condiciones socioculturales	20
1.5. Limitaciones y aplicaciones de las letrinas	20
1.6. Disposición del efluente	20
1.7. Diseño de letrinas	20
1.7.1. Criterios de diseño	20
1.7.2. Dimensiones	22
1.7.3. Ejemplo de diseño	22
1.8. Operación y mantenimiento	22
1.8.1. Procedimientos generales	22
1.8.2. Operación de la letrina seca ventilada de fosa profunda	24
1.8.3. Mantenimiento de la letrina seca ventilada de fosa profunda	24
1.8.4. Operación de la letrina seca ventilada de dos cámaras	24

1.8.5. Mantenimiento de la letrina seca ventilada de dos cámaras	24
1.8.6. Mantenimiento del sanitario con arrastre hidráulico o letrinas húmedas	25
2. Tanques sépticos	27
2.1. Introducción	27
2.2. Descripción	28
2.2.1. Elementos constitutivos	29
2.2.2. Funcionamiento	29
2.3. Tanques sépticos de varios compartimentos	31
2.4. Ventajas y desventajas	32
2.5. Diseño	32
2.5.1. Requerimientos	32
2.5.2. Bases de diseño para el tanque séptico	33
2.5.3. Gasto de aporte	33
2.5.4. Volumen del tanque	33
2.5.5. Dimensiones del tanque	34
2.5.6. Ejemplo de diseño	35
2.6. Especificaciones generales del tanque séptico	36
2.6.1. Forma de la unidad	36
2.6.2. Dispositivos de entrada y salida	37
2.7. Aspectos constructivos del depósito	38
2.8. Localización	38
2.9. Inspección y limpieza	39
Conclusiones del libro	41
Bibliografía	43
Tabla de conversiones de unidades de medida	45
Ilustraciones	55
Tablas	57

PRESENTACIÓN

Uno de los grandes desafíos hídricos que enfrentamos a nivel global es dotar de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento a la población, debido, por un lado, al crecimiento demográfico acelerado y por otro, a las dificultades técnicas, cada vez mayores, que conlleva hacerlo.

Contar con estos servicios en el hogar es un factor determinante en la calidad de vida y desarrollo integral de las familias. En México, la población beneficiada ha venido creciendo los últimos años; sin embargo, mientras más nos acercamos a la cobertura universal, la tarea se vuelve más compleja.

Por ello, para responder a las nuevas necesidades hídricas, la administración del Presidente de la República, Enrique Peña Nieto, está impulsando una transformación integral del sector, y como parte fundamental de esta estrategia, el fortalecimiento de los organismos operadores y prestadores de los servicios de agua potable, drenaje y saneamiento.

En este sentido, publicamos este manual: una guía técnica especializada, que contiene los más recientes avances tecnológicos en obras hidráulicas y normas de calidad, con el fin de desarrollar infraestructura más eficiente, segura y sustentable, así como formar recursos humanos más capacitados y preparados.

Estamos seguros de que será de gran apoyo para orientar el quehacer cotidiano de los técnicos, especialistas y tomadores de decisiones, proporcionándoles criterios para generar ciclos virtuosos de gestión, disminuir los costos de operación, impulsar el intercambio de volúmenes de agua de primer uso por tratada en los procesos que así lo permitan, y realizar en general, un mejor aprovechamiento de las aguas superficiales y subterráneas del país, considerando las necesidades de nueva infraestructura y el cuidado y mantenimiento de la existente.

El Gobierno de la República tiene el firme compromiso de sentar las bases de una cultura de la gestión integral del agua. Nuestros retos son grandes, pero más grande debe ser nuestra capacidad transformadora para contribuir desde el sector hídrico a **Mover a México.**



OBJETIVO GENERAL

El *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento* (MAPAS) está dirigido a quienes diseñan, construyen, operan y administran los sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento del país; busca ser una referencia sobre los criterios, procedimientos, normas, índices, parámetros y casos de éxito que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en su carácter de entidad normativa federal en materia de agua, considera recomendable utilizar, a efecto de homologarlos, para que el desarrollo, operación y administración de los sistemas se encaminen a elevar y mantener la eficiencia y la calidad de los servicios a la población.

Este trabajo favorece y orienta la toma de decisiones por parte de autoridades, profesionales, administradores y técnicos de los organismos operadores de agua de la república mexicana y la labor de los centros de enseñanza.



INTRODUCCIÓN AL SANEAMIENTO BÁSICO

Los elevados costos de los servicios de agua potable y alcantarillado convencionales han provocado que su cobertura en el medio rural sea insuficiente, originando problemas de salud que se relacionan directamente con la calidad del agua y la disposición inadecuada de las excretas.

Desde el punto de vista sanitario, esta situación constituye un riesgo para la salud, ya que la falta de agua potable y drenaje causan el consumo de agua de dudosa calidad y el fecalismo al aire libre.

Las enfermedades gastrointestinales son ocasionadas principalmente por partículas de heces fecales humanas transportadas por el viento y por escurrimientos pluviales. Estas infecciones podrían disminuir asegurando la adecuada cantidad y calidad del agua entubada, así como una disposición apropiada de excretas.

El problema de la insalubridad ambiental se supera mediante la implantación sistemática de un conjunto de medidas que se agrupan bajo el concepto de saneamiento básico rural. Este concepto incluye el abastecimiento de agua potable, la disposición sanitaria de las excretas humanas y la disposición adecuada de otros desperdicios sólidos.

En este libro, el saneamiento básico rural se enfoca en la disposición sanitaria de excretas humanas, proporcionando una metodología integrada por una estrategia técnica y otra de organización. Esta última requiere de la participación comunitaria e institucional para proteger las fuentes de abastecimiento, mejorar la calidad del agua y disponer correctamente de las excretas.



1

LETRINAS

Uno de los principales problemas en las comunidades rurales y marginadas es la contaminación del agua, los alimentos y el medio ambiente provocada por la descarga de residuos fecales al aire libre, debido a la carencia de sistemas sanitarios adecuados para el confinamiento y tratamiento de las excretas humanas. El problema se acentúa en la época de lluvias, porque la materia fecal es arrastrada hasta las fuentes de abastecimiento.

Por esta razón, las tecnologías para saneamiento de bajo costo como las letrinas, son opciones que pueden ayudar a disminuir los riesgos a la salud y mejorar el bienestar de la población.

La letrina es una instalación sanitaria que, con mínimos conocimientos técnicos, puede instalarse en lugares adecuados para el confinamiento y tratamiento de las excretas humanas. Cuando se construye adecuadamente, proporciona una solución barata para la disposición y tratamiento de los excrementos en comunidades rurales y marginadas, donde la dispersión de la población y la disponibilidad del agua limitan el uso de otras opciones.

Por sus características, la letrina con arrastre hidráulico es útil para localidades donde no tienen problemas de abastecimiento de agua. En cambio los sanitarios secos, además de cum-

plir con los propósitos de las letrinas y de los sanitarios con arrastre hidráulico, ofrecen un beneficio extra tanto para el usuario como para el ambiente.

En el medio rural, la construcción de una letrina típica tiene algunos componentes básicos como brocal, taza, tapa, tubo de ventilación y una profundidad adecuada de la fosa (Ilustración 1.1).

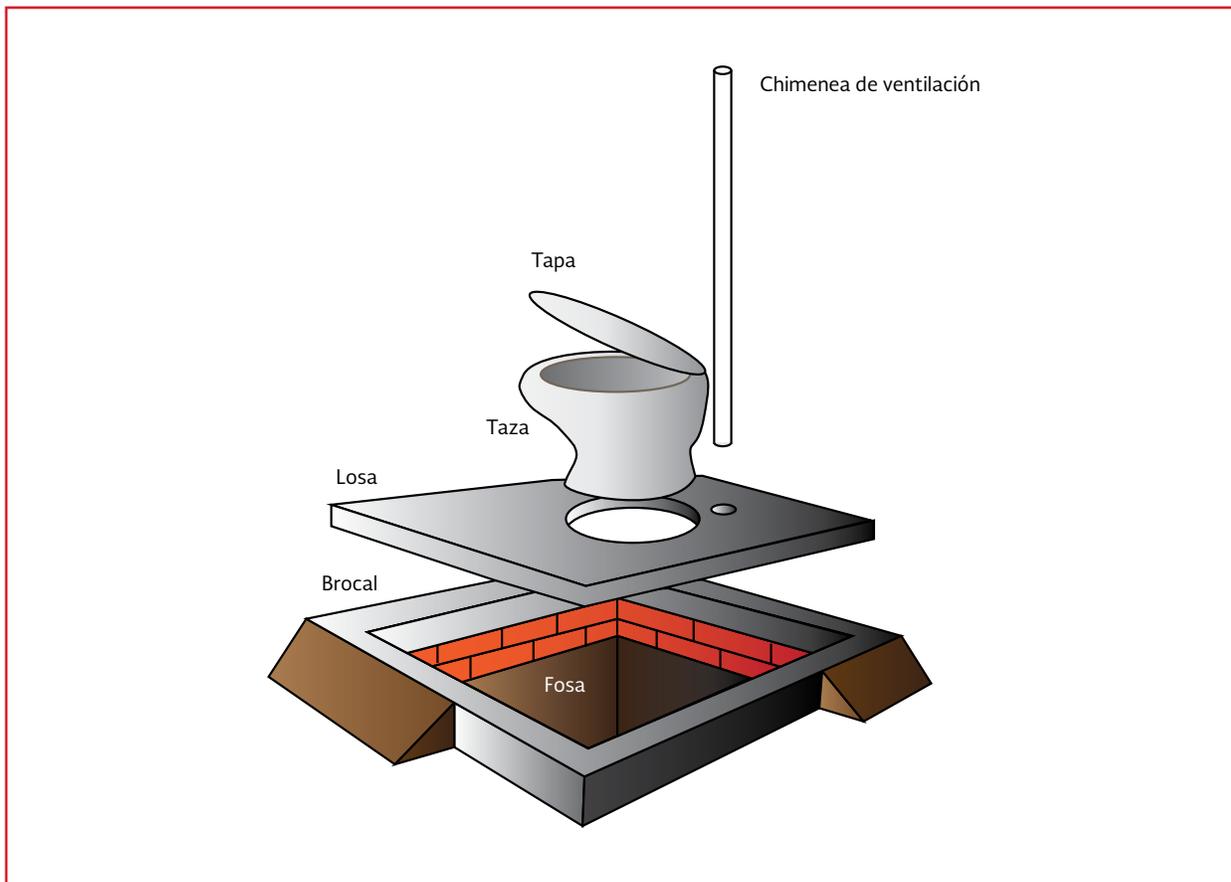
1.1. TIPOS DE LETRINAS

Existe una gran variedad de métodos de evacuación de excretas. Las opciones van desde técnicas simples usadas en las comunidades rurales, hasta técnicas sofisticadas recientes. Entre estas alternativas se encuentran:

- Técnicas especializadas, como las letrinas químicas
- Letrinas con excusado de sifón y sistemas relacionados
- Letrinas de fosa seca
- Letrinas de composteo
- Letrinas de cámara permanente, con acarreo de la excreta fuera del sitio
- Técnicas simples, como letrinas de zanja o entierro de la excreta

Este amplio rango de métodos de disposición de excretas ha dado lugar a varias clasificaciones sistemáticas. Una primera división, de acuerdo

Ilustración 1.1 Componentes de una letrina



con los requerimientos de agua, da lugar a dos grupos:

- Sistemas secos, de entre los que las letrinas de composteo constituyen el mejor ejemplo
- Sistemas que emplean agua, en los cuales se mezcla agua con la excreta mediante algún mecanismo manual de inundación

Una segunda división consiste en separar el tratamiento de acuerdo con la disposición final de las excretas, ya sea que se emplee o no agua:

- Sistemas *in situ*: disponen y tratan la excreta en el mismo sitio en que fue evacuada
- Sistemas fuera del sitio o a distancia: en los que se transporta la excreta a otro

punto. Un ejemplo de este método es el sistema de alcantarillado convencional

Una vez mencionadas las posibles clasificaciones, se puede reformular la información anterior:

- a) Sistemas húmedos, de tratamiento y disposición fuera del sitio:
 - Alcantarillado convencional
- b) Sistemas húmedos, de tratamiento en el sitio:
 - Letrinas con excusados de sifón
 - Letrinas de fosa anegada
 - Tanque séptico
 - Tanque Imhoff
- c) Sistemas secos, de tratamiento y disposición fuera del sitio

- Letrinas de cubo con acarreo de excreta
 - Inodoro de tierra de tule
- d) Sistemas secos, de tratamiento en el sitio:
- Letrinas de fosa seca
 - Letrinas de composteo

Las características de las letrinas son a menudo muy distintas. Sin embargo, desde el punto de vista puramente técnico se admite que una letrina o cualquier otro método de evacuación debe reunir los siguientes requisitos:

- Bajo costo de inversión, operación y mantenimiento
- Que requiera poco personal calificado para operarlo
- Accesible al nivel sociocultural y ambiental de la localidad
- Aplicable a pequeños rangos de población
- Con flexibilidad para funcionar como sistema de tratamiento en el sitio, o incluso para comunidades que cuenten con o puedan costear una red de conexión comunitaria
- Consumo mínimo de energía

Los dos tipos de instalación que reúnen los requisitos anteriores son las letrinas de fosa seca y las letrinas húmedas.

- a) Letrinas de fosa seca: son aquellas que funcionan sin necesidad de agua, a excepción de una pequeña cantidad para aseo permanente. A este grupo pertenecen las siguientes:
- Letrina tradicional simple
 - Letrina de fosa ventilada

- Letrina de fosa elevada
 - Letrina seca ventilada de dos cámaras (LSVC)
 - Letrina Multrum
- b) Letrinas que requieren de un suministro de agua; a este grupo pertenecen:
- Letrinas prefabricadas
 - Letrina de arrastre hidráulico
 - Letrina de fosa anegada

Al seleccionar el tipo de evacuación de excretas se deben tomar en cuenta las preferencias sociales y los medios existentes para costear la tecnología. Más adelante se compararán los diferentes tipos de letrinas con respecto a su aplicación, costos de construcción y operación, posibilidad de reúso y beneficios a la salud.

En todas las cuestiones relacionadas con la evacuación de excretas, los factores humanos son tan importantes como los de orden técnico. La población, particularmente en zonas rurales, no utilizará una letrina que le desagrade, que no permita un aislamiento adecuado o no pueda conservarse limpia.

1.1.1. LETRINA TRADICIONAL SIMPLE

1.1.1.1.Descripción general

Este tipo de letrina se compone de una losa colocada sobre una fosa, cuya profundidad puede ser de 2 m o más. La losa debe estar firmemente apoyada por todos los lados y elevada por encima del terreno circundante, de manera que el agua del subsuelo no pueda penetrar en la fosa (Ilustración 1.2).

Ilustración 1.2 Letrina tradicional simple



Los líquidos se infiltran en el suelo circundante y el material orgánico se descompone, produciendo gases que escapan a la atmósfera o se dispersan en el suelo. Se generan líquidos que se infiltran en torno al área de influencia de la fosa y se produce un residuo descompuesto (mineralizado) y compactado.

1.1.1.2. Aspectos constructivos

Este tipo de letrinas pueden ser construidas por el usuario y no necesitan agua para funcionar.

Fosa

Es una excavación simple. Se recomienda que este tipo de letrinas tenga 1 m² de área por 2 metros de profundidad, sin recubrimientos. Únicamente se requiere un ademe con materiales de la región, y la mano de obra puede provenir de los usuarios mismos.

La fosa tiene la función de acumular los residuos sólidos. Esto significa que tiene un tiempo de

vida útil que dependerá del número de personas que utilicen la letrina. Cuando la fosa esté a un 75 por ciento de su capacidad, es recomendable comenzar a construir una nueva para hacer el cambio de letrina.

Ante la posibilidad de que las paredes se derrumben, la fosa deberá construirse con mampostería confinada o reforzada, o concreto. El fondo del hueco deberá ubicarse a por lo menos 1.5 m sobre el nivel freático.

Brocal

Es una guarnición alrededor de la fosa. Se recomienda que tenga 30 cm de altura y puede construirse con materiales de la región o, en su defecto, de block, tabique o concreto. Esto dependerá de los recursos del usuario.

La función del brocal es levantar el piso o losa para que no esté en contacto con el suelo, así como sellar los orificios por los cuales puedan escapar malos olores.

Losa

La losa es una estructura de concreto, reforzada con malla electrosoldada o varilla, que debe tener un espesor mínimo de 7 cm. Dependiendo del tipo de letrina, ésta lleva uno o dos huecos en donde se instala la taza.

La losa tiene como función tapar la fosa y servir de soporte a la taza y caseta. Sus dimensiones varían de acuerdo al tipo de letrina.

En la actualidad puede conseguirse el piso para letrina hecho de fibra de vidrio y plástico, con taza y tapa integradas. Cuando se usa esta losa o piso la fosa puede ser circular, con un diámetro igual al de la losa o piso.

Taza, asiento y tapa

Las tazas pueden fabricarse en la comunidad mediante un molde. Sin embargo, existe en el mercado una gran variedad de tazas de buena calidad, gran durabilidad y fácil instalación, con separador de orina integrado, como la taza de cerámica vitrificada, fibra de vidrio y plástico.

Caseta

La caseta puede construirse con materiales como madera, tabique, block, adobe, piedra, cartón, paja o adquirirse prefabricadas de fibra de vidrio o plástico, de acuerdo al presupuesto del usuario.

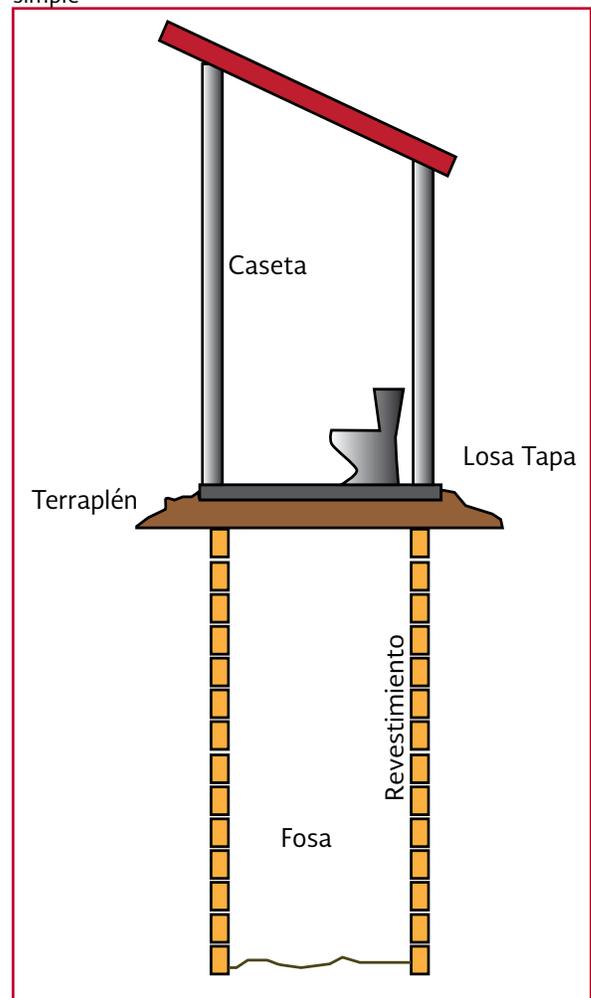
En general, la forma de la caseta es similar a la forma de las casas de la región. Este principio

normalmente determina el tipo de materiales que se puede emplear.

La Ilustración 1.3 muestra el esquema típico de una letrina tradicional simple.

Esta clase de letrinas presenta algunos problemas como la presencia de insectos y malos olores. Sin embargo, requiere de poco mantenimiento. Únicamente se debe conservar limpio el lugar y tapar el orificio cuando no se esté utilizando.

Ilustración 1.3 Componentes de una letrina tradicional simple



1.1.2. LETRINA MEJORADA DE FOSA VENTILADA

1.1.2.1.Descripción general

Para resolver los problemas de olores y presencia de insectos, que generan molestias y riesgos a la salud, se puede construir la letrina mejorada de fosa ventilada, que se diferencia de la letrina tradicional simple por disponer de un tubo vertical de ventilación, el cual posee una malla en su extremo superior para evitar la entrada de insectos (Ilustración 1.4).

El viento que pasa por encima del tubo, crea una corriente de aire desde la fosa hacia la atmósfera a través del tubo, y otra corriente descendente del exterior de la caseta hacia la fosa a través del asiento, generando la mayor parte del tiempo una conveniente circulación de los gases.

La circulación constante del aire elimina los olores resultantes de la descomposición de excretas en la fosa y hace que los gases escapen a la atmósfera por la parte superior del tubo y no por la caseta.

Ilustración 1.4 Letrina mejorada con fosa ventilada

La corriente de aire es mayor si la puerta de la caseta está ubicada del lado que sopla más frecuentemente el aire.

1.1.2.2.Aspectos constructivos

Las características constructivas se apegan a las especificaciones presentadas para el caso de la letrina tradicional simple, con la adición de un tubo de ventilación y consideraciones específicas para la caseta.

Caseta

Debe existir una abertura en la parte superior de la pared donde está la puerta, para permitir la entrada constante de aire. Esta abertura debe ser tres veces más grande que la sección transversal del tubo de ventilación.

La puerta de la caseta debe mantenerse cerrada, para mantener oscuro el interior. La luz que atrae insectos estará solo en el tubo de ventilación.



Tubo de ventilación

El tubo de ventilación sirve para expulsar lejos del usuario, hacia el exterior de la caseta, los malos olores que se generan en las fosas o cámaras, evitando así la proliferación de insectos. Existen diferentes materiales (asbesto-cemento, ladrillo, bambú, hierro, PVC, lámina galvanizada, fibra de vidrio, etcétera) para instalar el tubo de ventilación. Su elección dependerá de los siguientes factores: durabilidad y resistencia requeridas, riesgo de corrosión, disponibilidad, costo y facilidad de instalación.

Se recomienda usar tubo de PVC con las siguientes dimensiones: 4" de diámetro y 2.5 m de longitud, debe sobresalir 50 cm de la caseta y debe estar colocado de forma tal que durante la mayor parte del día el sol lo caliente directamente. Se puede pintar de negro para aumentar la absorción solar.

Además, para impedir el paso de los insectos y la lluvia, en la parte superior se colocan un pedazo de tela de mosquitero y un sombrero metálico.

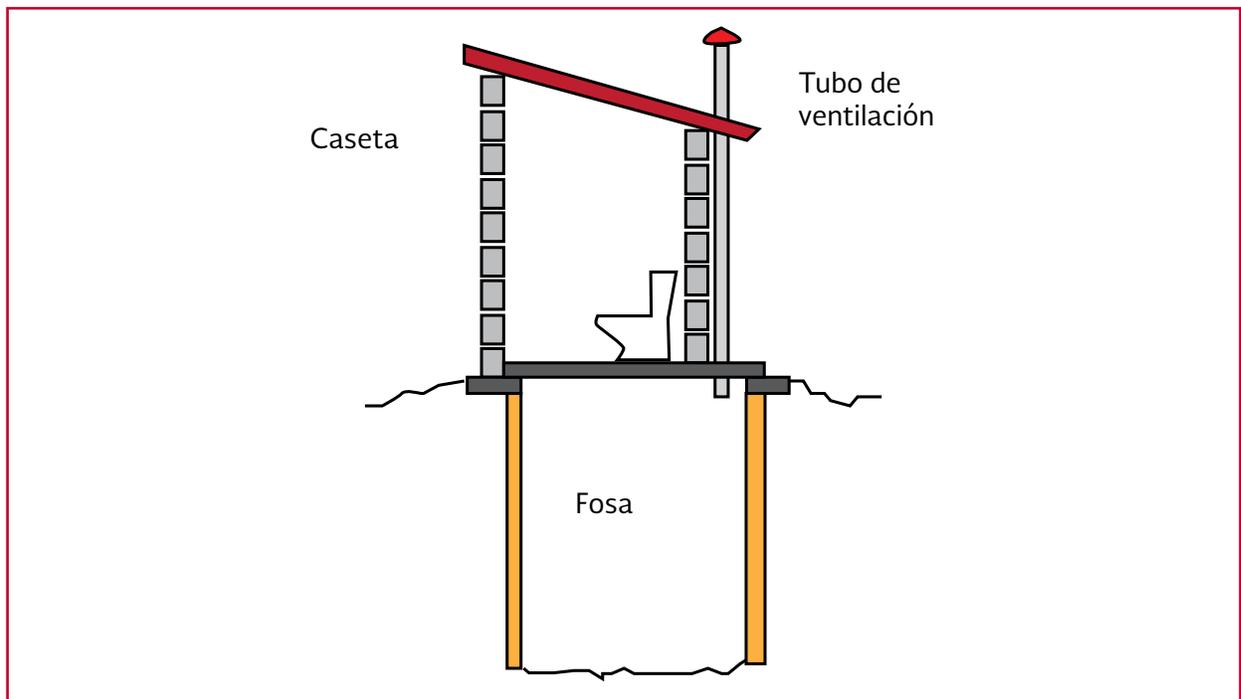
La Ilustración 1.5 muestra el esquema típico de una letrina de fosa ventilada.

1.1.3. LETRINA DE ARRASTRE HIDRÁULICO

1.1.3.1. Descripción general

Se puede agregar un sifón o una trampa de agua a la letrina con el propósito de establecer un cierre hidráulico que impida el paso de insectos y malos olores de la fosa al interior de la caseta. La remoción o limpieza de las heces y del elemento donde se descargan se hace con la aplicación de agua en cantidades suficientes como para provocar el arrastre de los sólidos hasta el hueco o fosa, reestableciendo luego el cierre hidráulico.

Ilustración 1.5 Componentes de una letrina mejorada de fosa ventilada



El cierre hidráulico utiliza muy poca cantidad de agua, pues funciona con volúmenes de entre tres y cuatro litros.

1.1.3.2. Aspectos constructivos

La fosa puede estar ubicada en un sitio desplazado con respecto a la caseta de la letrina, en cuyo caso ambas unidades estarán conectadas por una tubería de poca longitud. La caseta podrá construirse en el interior de la casa o pegada a ella. El cierre hidráulico puede ser parte del elemento que forma el asiento o estar unido a él, colocándose por debajo.

No es preciso utilizar agua limpia para accionar este sistema. Es posible reutilizar el agua doméstica, como la del lavado de ropa o regadera.

Si la fosa está desplazada con respecto a la caseta, la tubería que hace las descargas desde la taza deberá tener una pendiente no menor al tres por ciento.

Al llenarse la fosa, deberá excavar otra, y dejar los excrementos reposando y continuando su proceso de descomposición duran-

te por lo menos seis meses. En caso de contar con la modalidad de letrina desplazada, no será necesario mover la caseta, sino solamente excavar otro hueco en las inmediaciones y mover las tuberías de descarga hacia él. Es recomendable considerar un registro de inspección entre la caseta y la fosa para trabajos de mantenimiento. La Ilustración 1.6 y la Ilustración 1.7 muestran el esquema típico de una letrina con arrastre hidráulico y fosa desplazada.

1.1.4. LETRINA DE FOSA ELEVADA

Cuando al nivel freático está muy cerca de la superficie, se recomienda construir una letrina con fosa elevada.

La fosa se excava al final de la época seca, a una profundidad tal que el fondo esté cuando menos a 1.5 m del nivel freático. Para cumplir con este requisito, puede que la fosa deba emerger del nivel del terreno (Ilustración 1.8).

Cuando la zona de infiltración que se puede obtener bajo el suelo sea insuficiente, la parte elevada de la fosa podrá ir rodeada de un terraplén.

Ilustración 1.6 Letrina de arrastre hidráulico



Ilustración 1.7 Esquema de una letrina con arrastre hidráulico

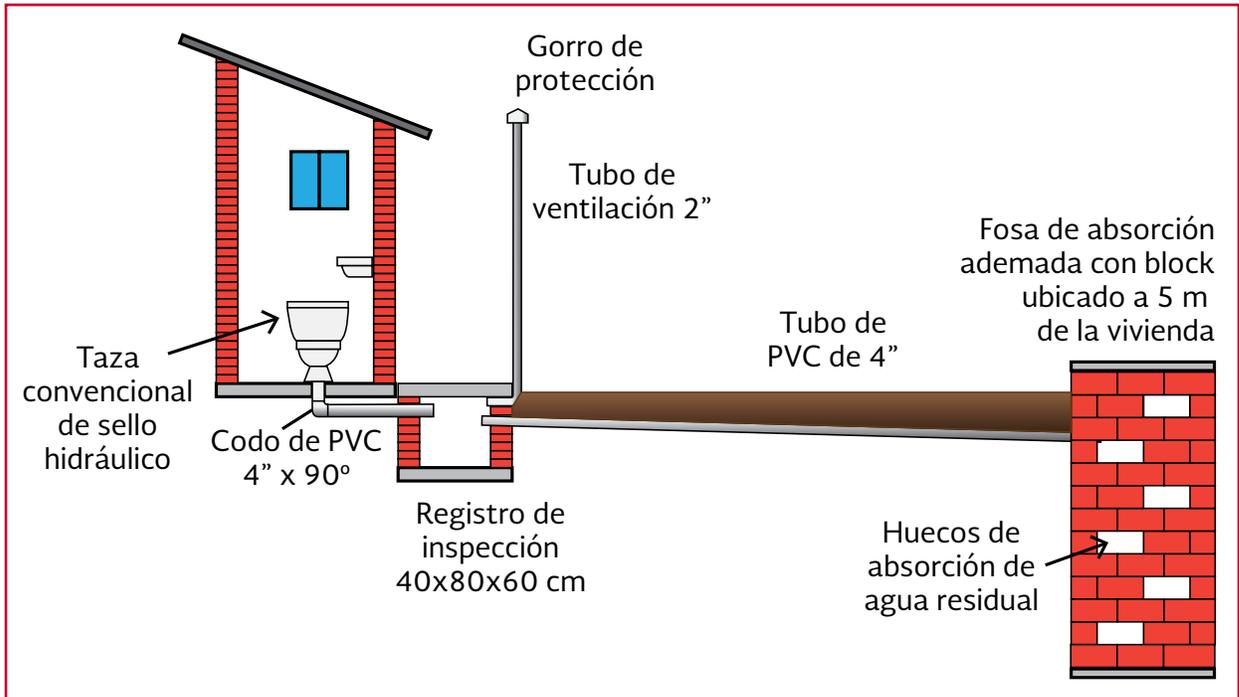
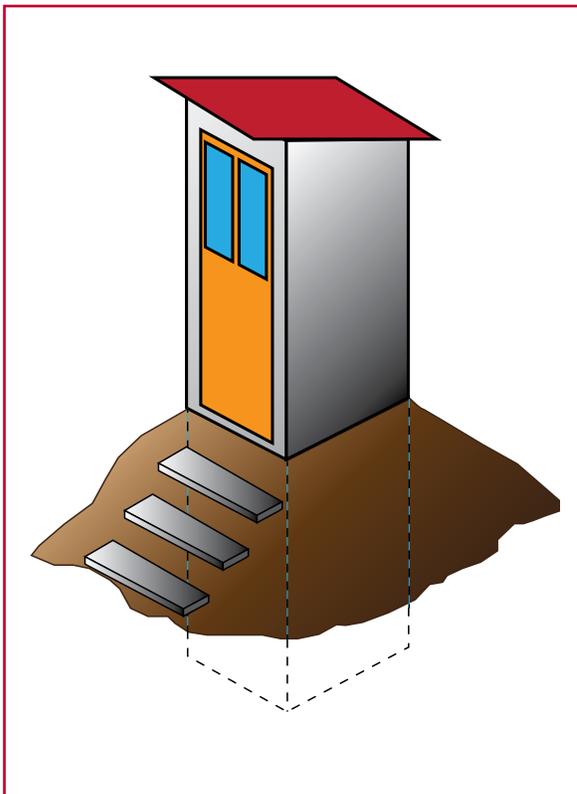


Ilustración 1.8 Esquema de una letrina con fosa elevada



Esta modalidad, que se llama letrina de fosa elevada, puede ser utilizada como letrina tradicional simple, letrina mejorada de fosa ventilada, letrina con cierre hidráulico o de cualquier otro tipo que sea factible.

El revestimiento de la fosa debe impermeabilizarse, tanto por dentro como por fuera.

Si se construye un terraplén, el mismo podrá usarse para la infiltración, siempre que se haga de un material permeable y bien compactado, con una inclinación lateral estable y que sea lo bastante grueso para evitar que los líquidos filtrados rezuman en la base del terraplén, en lugar de infiltrarse en el suelo.

En las construcciones con terraplén, la parte superior (50 cm) del revestimiento levantado también deberá estar impermeabilizada por ambos

lados. La filtración se hará por las aberturas dejadas en la parte inferior.

1.1.5. LETRINAS PREFABRICADAS

En la actualidad se han desarrollado sistemas prefabricados con el propósito de cumplir con las funciones que tradicionalmente se han tipificado para las letrinas. Normalmente están fabricados con materiales plásticos reforzados con fibra de vidrio, y cuentan con elementos estéticos añadidos (Ilustración 1.9).

Por el tipo de material con que se fabrican, estas letrinas son muy livianas; la unión entre el piso y el asiento, realizada en la fábrica, le da ventajas sanitarias que impiden el paso de insectos entre la caseta y el hueco.

Estas letrinas deben apoyarse sobre suelo firme para evitar hundimientos y deformaciones debidos a la flexibilidad propia de los materiales con los que se fabrican. Cada uno de estos sistemas tiene sus propias especificaciones y componentes, pero en general son una estilización de una

letrina mejorada con fosa ventilada, o una letrina de arrastre hidráulico. Sus fosas deben cumplir con la norma NOM-006-CONAGUA-1997 “Fosas sépticas prefabricadas. Especificaciones y métodos de prueba” o la normatividad vigente para este tipo de elementos.

1.1.6. LETRINA SECA VENTILADA DE DOS CÁMARAS

1.1.6.1. Descripción general

Esta letrina consiste en una taza o asiento especial (con separación para heces y orina, ver Ilustración 1.10) y consta de dos cámaras que se usan en forma alterna; una se llena mientras la otra descompone el material previamente depositado. Las heces caen en la cámara y la orina llega por un tubo a una fosa de infiltración. Este tubo o manguera sale del asiento y se une con la que viene del orinal para recolectar toda la orina y evitar su combinación con las heces de las cámaras (Ilustración 1.11). Se presentan ejemplos de letrinas secas ventiladas de dos cámaras en la (Ilustración 1.12).

Ilustración 1.9 Ejemplo de letrinas prefabricadas



La presencia de dos cámaras tiene el objetivo de darle a las heces el tiempo suficiente para que se descompongan. El proceso es seco, utiliza cal o ceniza, y por esa razón básica desde el inicio se separan los orines.

Los lodos o material seco que se extrae puede ser aplicado como composta o acondicionador de suelos. Una de las funciones de la ceniza es secar las heces para lograr una mejor descomposición y muerte de los microbios. Esta letrina

Ilustración 1.10 Ejemplo de taza separadora de orina y heces



Ilustración 1.11 Esquema de doble cámara en la letrina seca ventilada de dos cámaras

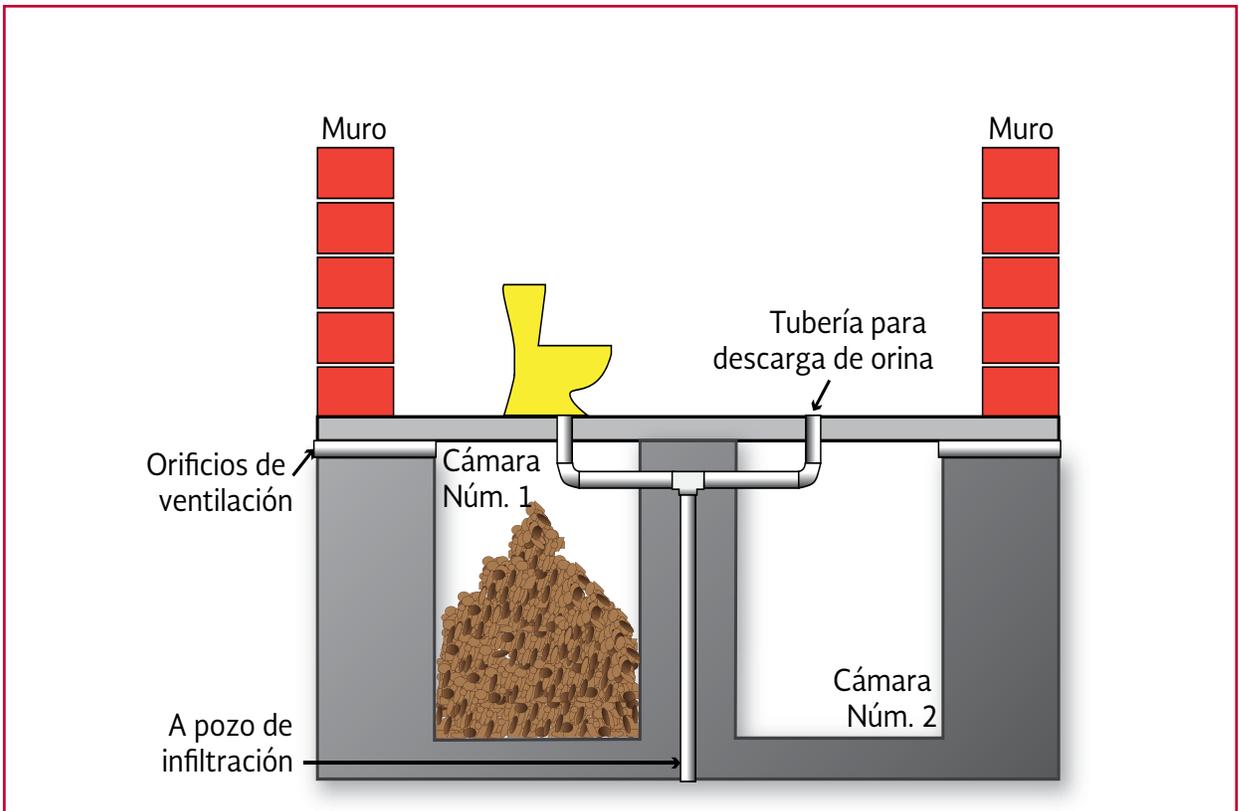


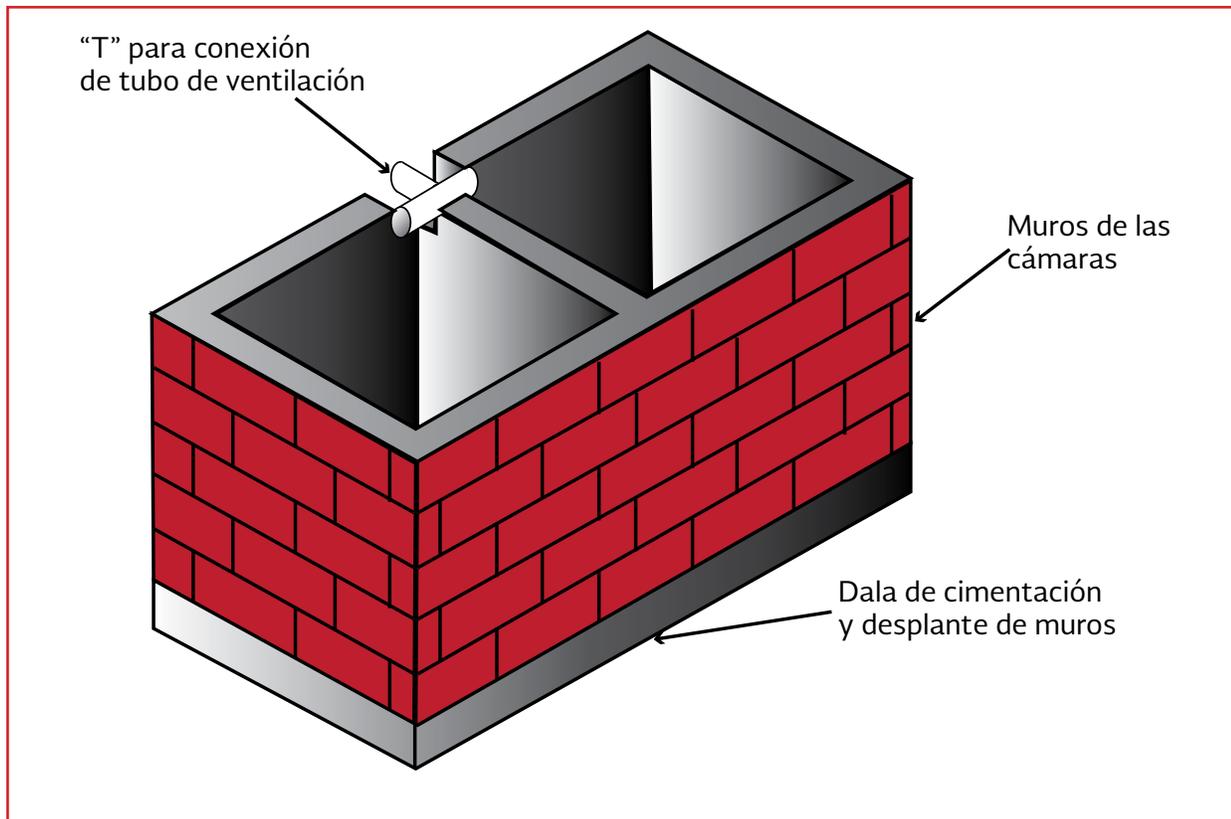
Ilustración 1.12 Ejemplo de letrina seca ventilada de dos cámaras



produce menor cantidad de gases olientes y algo de humedad. Unas pequeñas aberturas en los costados de los muros son suficientes para que esos gases escapen.

Semanalmente se tiene que apelmazar la mezcla de heces y ceniza para lograr un mejor uso del volumen de la cámara. Cuando una cámara está casi llena, la mezcla se cubre con tierra y se co-

Ilustración 1.13 Cámaras o fosas de block



loca la tapadera. La taza debe trasladarse al otro compartimento y la cámara llena debe dejarse descansar durante 6 meses.

Cada persona produce aproximadamente 1.5 costales (sacos) de materia fecal estabilizada, comúnmente llamada composta, al año.

1.1.7.2. Aspectos constructivos

Excavación de la fosa

Si se construye de forma superficial, se inicia la excavación del hueco a 30 cm de profundidad (suelo rocoso, arcilloso o manto freático menor a 1.5 m); si es semienterrada, la profundidad es variable pero menor a 1 m (suelo poco rocoso, arenoso); cuando los suelos son blandos, la fosa puede excavar hasta 1 m de profundidad, totalmente enterrado, siempre y cuando el nivel de las aguas freáticas se encuentre a 1.5 m de profundidad, por debajo del fondo de la fosa.

Fosa

El piso de la fosa debe quedar nivelado, y cuando el agua subterránea se localice a más de 1.5 m de profundidad, en el fondo se construye una cama de 15 cm de espesor, de grava o piedra de río y sobre ésta, otra de arena de 5 cm. Si el manto freático se encuentra a menos de 1.5 metros, se hace un piso de concreto de 10 cm de espesor (observe la Ilustración 1.13). El fondo de las fosas se construye de la misma forma para las tres variantes de construcción de la letrina seca de dos cámaras (enterrada, semienterrada y superficial).

También es necesario construir un filtro de 30 cm de diámetro y 60 cm de profundidad atrás de la letrina. Este filtro se rellena con grava, carbón

y arena y en él se descargará la orina que conduce el separador.

Es necesario construir una dala perimetral con sección de 15x15 cm en el fondo de la fosa; el habilitado y armado de la dala se hace utilizando ármex prefabricado de 10x10 cm o se puede usar varilla del número 3 (3/8") y alambión para los estribos (anillos) separados cada 20 centímetros.

La losa del fondo debe ser de concreto reforzado con varilla de 3/8" y de un espesor mínimo de siete centímetros.

Muros de las cámaras

Los muros pueden construirse con tabique, block, piedra o concreto armado.

Cuando se hacen con tabique o block, se desplantan sobre la dala y en cada una de las cuatro esquinas se cruzan uno con otro, con el objetivo de reforzar las orillas y evitar la construcción de castillos. Cuando los muros alcancen 90 cm de altura, al centro de ambas cámaras se permite que sobresalga un tramo de tubo de PVC de 4" de diámetro por 25 cm de longitud para adaptar un codo de PVC y poder acoplar el tubo de ventilación.

Para la construcción de muros de concreto armado se utilizan paredes de 10 cm de espesor, con malla electrosoldada con una separación de 3.5 cm entre el paño exterior del muro y la malla.

En ambos casos, se debe aplanar los muros y garantizar la hermeticidad de las cámaras. Cuando la construcción es superficial, se aplanan tanto en su interior como en el exterior.

Ilustración 1.14 Esquema de una letrina seca ventilada de dos cámaras (vista frontal)

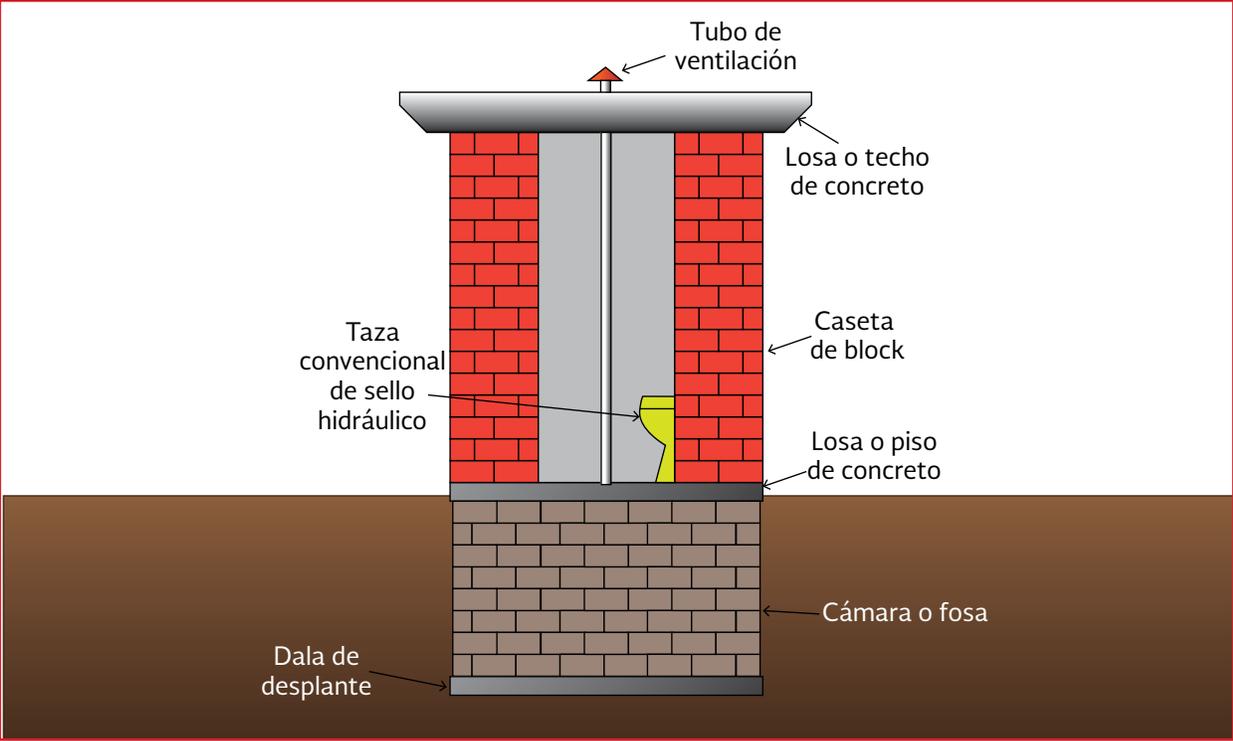
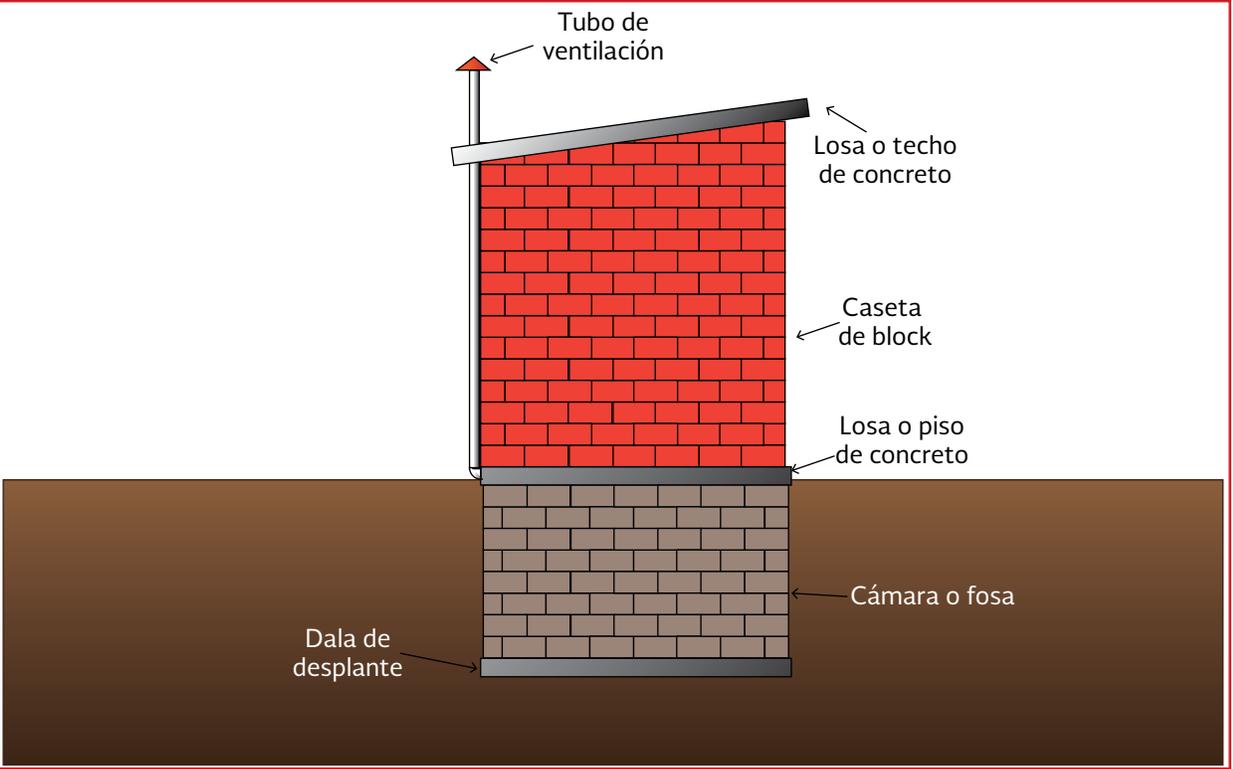


Ilustración 1.15 Esquema de una letrina seca ventilada de dos cámaras (vista lateral)



Losa

La losa se hace a base de concreto reforzado con varilla de 3/8". En la losa se dejan dos huecos de 30 cm de largo y 25 cm de ancho en los que se instalará la taza. Los orificios deben quedar centrados en las cámaras.

Las características constructivas de la caseta, la taza y los tubos de ventilación se apegan a las especificaciones presentadas para los casos anteriores. La Ilustración 1.14 y la Ilustración 1.15, presentan el arreglo general de una letrina seca ventilada de dos cámaras.

1.1.7. LETRINA MULTRUM

En 1939, Rikard Lindstrom construyó en su propiedad el primer sanitario de compostaje. La patente fue presentada en la década de 1960 bajo el nombre de *clivus*, palabra latina que significa 'inclinación'. Hoy en día, el producto

se denomina *clivus multrum*. El concepto de 'multrum' fue acuñado por Sven E. Arrhenius, profesor de la Universidad de Estocolmo. Él opinaba que 'multrum' (un lugar de descomposición) explica mejor el funcionamiento de este sistema. Está clasificado como un sistema continuo de generación de composta en el que, a diferencia de la letrina de doble cámara, la degradación se realiza bajo condiciones aeróbicas. La Ilustración 1.16 presenta ejemplos de letrinas Multrum.

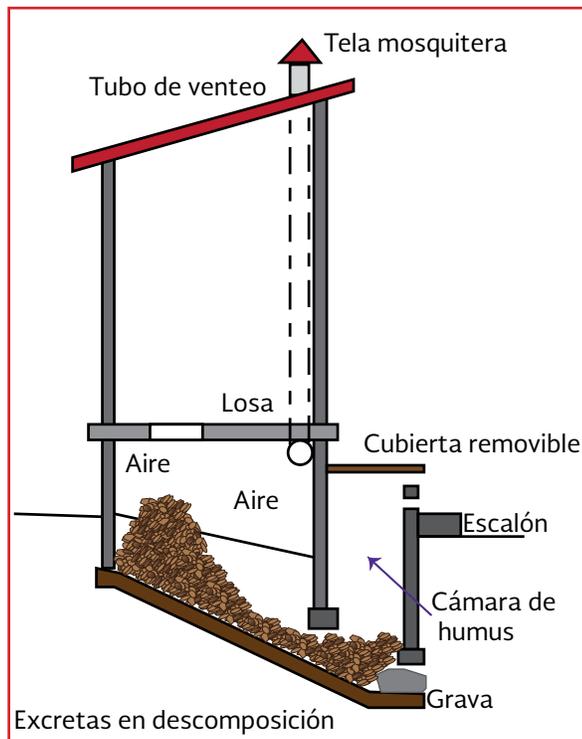
La letrina puede construirse dentro de la vivienda, solar familiar o en zonas con casas por construir. Su fosa se divide en dos cámaras: una mayor con el piso inclinado (30 grados para asegurar el lento deslizamiento de las excretas) y otra menor, con el piso horizontal en donde el humus producido se remueve periódicamente (ver Ilustración 1.17). En la cámara mayor se introducen los desechos fecales y la basura orgánica (la cual se introduce por la compuerta lateral), que al combinarse inician su transformación en composta y se deslizan hacia la

Ilustración 1.16 Ejemplo de letrina multrum



cámara menor, donde se acumulan y culmina el proceso de descomposición, que dura aproximadamente un año. Después de este tiempo se extrae la composta, que es de buena calidad y fácil obtención. Para facilitar su extracción, la cámara menor se puede dejar fuera de la casa.

Ilustración 1.17 Esquema de una letrina multtrum



Esta letrina transforma en composta la materia fecal y basura orgánica que se agregan. Esta última tiene una doble función: actuar como absorbente, tanto de la orina como del agua usada para limpieza del sanitario, y lograr una relación carbono-nitrógeno adecuada para un buen material de composteo. El contenido de humedad del material composteado y el humus deberá ser de entre 40 y 60 por ciento.

Las cámaras tienen una entrada de aire en la parte superior y un tubo de ventilación para el

constante movimiento de aire, con lo que se facilita la descomposición orgánica y, sobre todo, se evita el mal olor. Cuando el terreno es rocoso o predominan las lluvias, el piso debe ser más alto que el nivel del suelo.

Antes de usar la letrina, y cada vez que se extraiga la composta, se debe agregar una capa de 20 cm de hojarasca o zacate para que ayude a absorber la humedad. No debe introducirse ningún líquido diferente a la orina.

1.2. UBICACIÓN Y ORIENTACIÓN DE LA LETRINA

Las letrinas deben construirse en espacios abiertos o en el patio trasero de la casa. Si esto no es posible, pueden ubicarse en el pórtico o inclusive dentro de un cuarto. Otra alternativa es localizarlas a un lado de las veredas o senderos. No se deben construir muy alejadas de la casa porque no todos los miembros de la familia las utilizarían, especialmente por la noche, y se dificultaría su uso por parte de enfermos de diarrea, siendo sus heces las más peligrosas para la salud. Si la letrina queda cerca, es más fácil enseñar a los niños a no defecar en el suelo.

Las fosas no deben localizarse en depresiones donde normalmente se recolecte el agua residual o de lluvia; cualquier depresión deberá ser rellenada. En terrenos con rocas fracturadas y formaciones de yeso, se deben adoptar modificaciones adicionales, como la impermeabilización.

Para evitar el peligro de contaminación de fuentes superficiales, en ningún caso se deberá hacer

la fosa en las vías naturales de drenaje o en el camino de un dren de tormentas pluviales. Con respecto a la contaminación de fuentes subterráneas y tuberías de distribución de agua para consumo humano, las fosas deberán ubicarse en sitios donde los riesgos de contaminación sean mínimos.

No hay riesgo de contaminación bacteriológica al localizar las fosas de las letrinas en suelos donde predomine limo mezclado con arena fina, y cuando el piso de la fosa está a una distancia mínima de 2 m encima del nivel de aguas freáticas. La distancia respecto a estructuras existentes dependerá del espacio disponible para construir las letrinas. Dado que la digestión de excretas en las fosas y el subsecuente lixiviado pueden contaminar el suelo que se encuentra a su alrededor, las distancias seguras para diferentes tipos de suelo y profundidades de fosas están descritos en la Tabla 1.1.

Por último, se debe orientar la letrina de tal manera que los tubos de ventilación reciban la luz del sol la mayor parte del día (hacia el sur).

1.3. DISTANCIA SEGURA DE LAS LETRINAS CON RESPECTO A LAS FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

En fosas secas o en suelos no saturados, donde la distancia entre la fosa y el manto freático durante el año es de 2 m o más:

- Si el tamaño efectivo del grano es 0.2 mm o menos, las fosas deben ubicarse a una distancia mínima de 3 m de las fuentes de agua para consumo humano, tales como manantiales y pozos artesianos
- Para suelos arenosos con un tamaño efectivo de grano mayor a 0.2 mm, se puede mantener la misma distancia, siempre y cuando el fondo de la fosa se impermeabilice con materiales como arcilla o geomembranas, y una capa gruesa de arena fina de 500 mm de espesor con tamaño efectivo de grano de 0.2 mm

Tabla 1.1 Distancia de la fosa de las estructuras existentes, de acuerdo a su profundidad y tipo de suelo

Tipo de suelo	Para fosas dentro de las instalaciones		Para fosas fuera de las instalaciones	
	Profundidad total de la fosa	Distancia de la fosa con respecto a estructuras	Profundidad total de la fosa	Distancia de la fosa con respecto a estructuras
	m	m	m	m
Areno-arcilloso (arena > 50 por ciento)	1.3	0.22	1.96	0.54
	1.73	0.43	2.27	0.72
	2.05	0.6	2.56	0.88
Arcillo-arenoso (arcilla y limo > 50 por ciento)	1.3	0.32	1.96	0.8
	1.73	0.6	2.27	1.06
	2.05	0.88	2.56	1.3

En fosas húmedas o bajo condiciones de suelo saturado, donde la distancia entre la fosa y el manto freático durante el año es menor de dos metros.

- Si el tamaño efectivo de grano es de 0.2 mm o menos, las fosas pueden ubicarse a una distancia mínima de 10 m de las fuentes de agua potable
- Para suelos arenosos con un tamaño efectivo de grano mayor a 0.2 mm, se sigue la segunda condición mencionada para fosa seca

Los alrededores inmediatos a la letrina (2 metros de distancia alrededor de la construcción) deben estar libres de vegetación, así como de toda clase de desechos y escombros. Sin embargo, se puede hacer caso omiso de esta recomendación en las fases iniciales de la obra de mejoramiento sanitario en zonas rurales, por ejemplo, para lograr que la población acepte la letrina, es necesario respetar el aspecto natural del terreno cubierto de matorrales que se utilizaba antes para la defecación. En la Ilustración 1.18 e Ilustración 1.19 se presenta gráficamente la locali-

zación adecuada de la letrina dentro de un predio y de una comunidad rural.

1.4. FACTORES PARA SELECCIONAR EL TIPO DE LETRINA

En cualquier localidad existen siempre condiciones físicas, económicas y culturales, que junto con el nivel de suministro de agua, orientan la selección de la letrina.

1.4.1. CONDICIONES FÍSICAS

El abastecimiento continuo o intermitente de agua en cantidad suficiente o escasa es el factor que determina el tipo de letrina que se diseñará, ya sea seca o húmeda.

Para propósitos de diseño de las fosas de letrinas, a los suelos se les considera de estructura consistente o no consistente dependiendo de su resistencia al derrumbe, y se puede determinar de qué naturaleza son mediante la experiencia y conocimiento de la región.

Ilustración 1.18 Localización adecuada de una letrina dentro de un predio

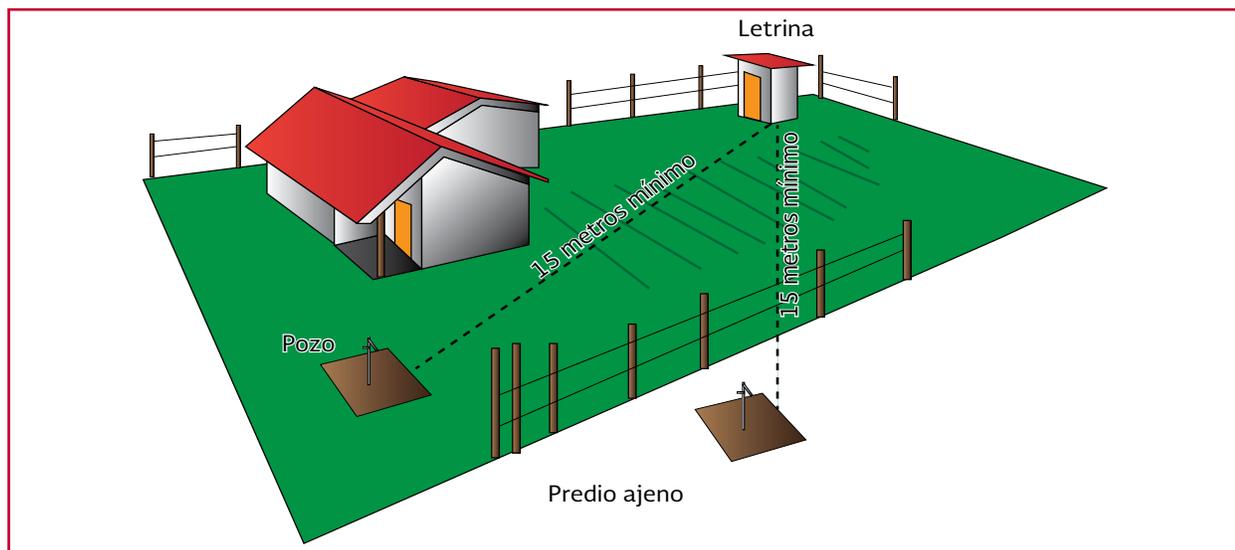
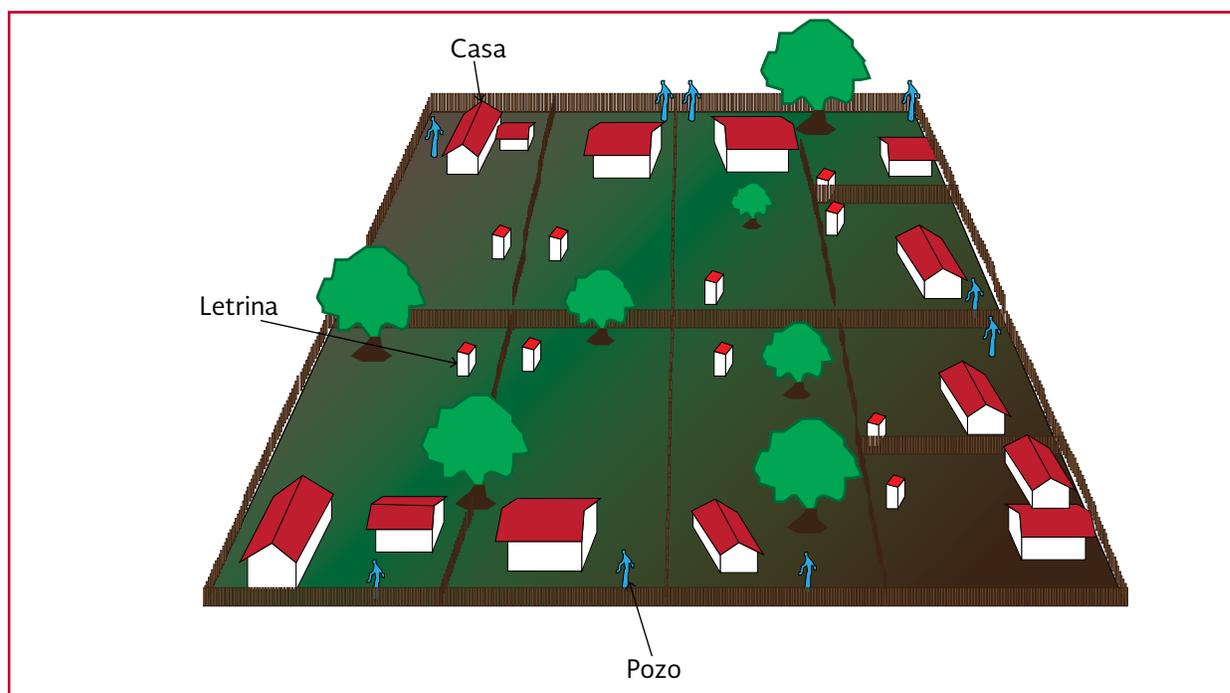


Ilustración 1.19 Localización adecuada de una letrina dentro de una comunidad



Sí han ocurrido derrumbes de letrinas o excavaciones similares, el suelo se considera no consistente y, por lo tanto, la fosa debe afianzarse con mampostería reforzada o concreto, o construirse superficialmente.

Si el suelo es sólido se puede excavar la fosa, pero si su consistencia se debe a la dureza de tepetate o pedregosidad, la fosa puede construirse semienterrada.

La profundidad del agua subterránea también limita el tipo de letrina a construir. Para determinar este factor sin realizar estudios hidrogeológicos, se sugiere hacer un recorrido por la localidad y visitar los predios de las familias que tienen norias o pozos domésticos, para usar la información como indicador aproximado de la profundidad a la que se encuentra el agua subterránea en esa zona.

Para diseminar letrinas húmedas o secas de fosa profunda, es necesario que el agua sub-

terránea esté a por lo menos 1.5 m de profundidad a partir del fondo de la letrina. Si el agua se localiza a menos de 1.5 m, entonces las fosas se diseñan para construirse semienterradas o superficiales, del tipo seco de doble cámara.

1.4.2. CONDICIONES ECONÓMICAS

Por lo general, las comunidades cuentan con escasos recursos económicos, pero pueden aportar el terreno, la mano de obra y algunos materiales regionales. Cuando sea necesario, se requerirá el apoyo de instituciones que aporten los materiales industrializados (cemento, varilla, tabique, cal, tubo de ventilación, láminas, etc.) y la asesoría técnica.

El tipo de letrina se selecciona considerando los costos de estos componentes y las necesidades del usuario.

1.4.3. CONDICIONES SOCIOCULTURALES

El diseño de la letrina debe estar de acuerdo con las preferencias y costumbres de la población. El usuario debe participar en el diseño, indicar si acostumbra defecar sentado o en cuclillas, y si prefiere usar los servicios colectivos (varias familias por letrina) o individuales (una familia por letrina). Si se consideran las costumbres del usuario, se podrá diseñar un sanitario adecuado y se garantizarán su uso y mantenimiento.

1.5. LIMITACIONES Y APLICACIONES DE LAS LETRINAS

En la tabla 1.2 se presenta el tipo de letrina a implementar, de acuerdo con el tamaño de la localidad. Por su parte, la tabla 1.3 enlista los problemas, causas y soluciones propuestas para el uso adecuado de las letrinas.

1.6. DISPOSICIÓN DEL EFLUENTE

La disposición del efluente se efectúa después de la sedimentación del agua residual y de la transformación de la materia orgánica en el tanque séptico.

El efluente contiene concentraciones altas de materia orgánica, nutrientes y un gran número de patógenos, por lo que no debe descargarse directamente al suelo o a cuerpos de agua. Se recomienda hacerlo a zanjas de filtración o pozos de absorción. Para más información al respecto, consulte el libro *Tratamientos no convencionales de aguas residuales municipales*, del MAPAS.

Antes de diseñar un sistema subterráneo para eliminar aguas negras, es necesario hacer la prueba de absorción del suelo y calcular el área requerida (ver dimensiones de las cámaras de lodos, más adelante).

Si no se hace la prueba de absorción, se puede utilizar la tasa promedio de filtración de suelos permeables que, para este caso, es de 20 litros por metro cuadrado, por día. El nivel freático debe estar a por lo menos 1.5 m debajo del fondo de la zanja o pozo de absorción. Pueden considerarse dos opciones para filtrar el efluente, las zanjas de filtración y los pozos de absorción.

1.7. DISEÑO DE LETRINAS

1.7.1. CRITERIOS DE DISEÑO

La descomposición de las heces y orina se puede dar por procesos aeróbicos y anaeróbicos. En caso de que exista contacto con el aire a través de la taza o el tubo de ventilación, la descomposición de los sólidos (excretas y papel), ocurre mediante la degradación efectuada por bacterias aerobias con presencia de oxígeno, que produce la absorción o infiltración de la fase líquida de la excreta y la orina.

Cuando la fosa se sella, la descomposición se origina por una reacción química llamada desecación alcalina. Mediante esta reacción, los compuestos alcalinos que se añadieron a la fosa durante su uso (cal o ceniza), quitan el agua a los organismos vivos presentes en el excremento, provocando su destrucción.

Sin embargo, la digestión anaeróbica que prevalece en esas condiciones no remueve la totalidad

Tabla 1.2 Sistema sanitario según la dispersión de la localidad

Tamaño de la localidad	Características de la comunidad	Tecnología recomendada
Habitantes		
100 a 499	Comunidades pequeñas con alta dispersión, lotes o solares grandes y suelos fáciles de excavar.	Letrina seca de fosa profunda, con losa o piso de concreto o de fibra de vidrio.
500 a 999	Comunidad con densidad poblacional de 10 a 49 hab/km ² , donde existen calles y manzanas.	Letrina seca de fosa profunda.
	Tienen escasez de agua, el suelo es ligeramente pedregoso, el solar es grande.	Letrina seca de dos cámaras semienterradas.
1 000 a 1 999	Comunidad con densidad poblacional de 50 a 99 hab/km ² .	Letrina seca de dos cámaras de construcción.
	Tiene abastecimiento continuo y suficiente, suelo fácil de excavar y manto freático superficial en época de lluvia.	Superficial y semienterrada con fondo impermeable de concreto simple.
	Manto freático a más de dos metros.	Letrina seca de dos cámaras de construcción profunda o superficial con fondo de grava y arena. Letrina húmeda.
> 2 000	Comunidades mayores de 2 000 habitantes.	Sanitario con arrastre hidráulico.

Tabla 1.3 Problemas comunes en el uso de letrinas

Problemas	Causas	Soluciones
Construcción incompleta	Falta de dinero	Formar comité de saneamiento
	Escasez de materiales o dificultad de adquisición	Capacitar a los miembros del comité
	Faltan conocimientos y asesoría	Asesoría
Taza incómoda	Mal diseño	Mejorar diseño y poner asiento de plástico
	Mala construcción	Mejorar la calidad de mano de obra
	Falta de asiento	
Caseta calurosa	Caseta pequeña y sin ventilación adecuada	Agrandar caseta Dejar ventilación
	Materiales de construcción equivocados	Usar materiales térmicamente frescos
Malos olores	Penetración de agua a la fosa	Construir cuneta
	Nivel freático alto	Poner ventilación
	Falta de tapa	Letrina superficial Poner tapa
Proliferación de moscas y mosquitos en la caseta	Exceso de humedad	Agregar 10 litros de la mezcla inicial
	Taza sin tapa	Tapar la taza
	Falta de tubo de ventilación o mala instalación	Poner tubo de ventilación
	Mantenimiento inadecuado de la letrina	Mantener limpia la caseta

Tabla 1.3 Problemas comunes en el uso de letrinas (continuación)

Problemas	Causas	Soluciones
Derrumbes del suelo	Suelos no consistentes o inestables, sin ademar	Reforzar fosa con ademe de madera, ferrocemento, ladrillo o piedra Construir la letrina superficial
Contaminación del manto freático	Alta permeabilidad del suelo	Construir letrina superficial de doble cámara con fondo impermeable
	Nivel freático alto	
Dificultad para excavar	Suelo rocoso, tepetatoso, arenoso y poco permeable	Construir la letrina superficial de doble cámara con fondo de grava y arena

de los sólidos, por lo que se acumulan con una tasa que va de 0.03 a 0.06 m³ por persona al año. En fosas húmedas, la tasa de acumulación es de entre 0.02 y 0.04 m³ por persona al año, ya que la degradación es más rápida bajo estas condiciones.

1.7.2. DIMENSIONES

Las fosas cuadradas no deben tener un área mayor de 1 m² y las rectangulares no exceden 1 m de ancho por 1.5 m de largo.

Para propósitos de diseño, la capacidad o volumen requerido (V_r) se calcula como:

$$V_r = S(P)(A)(V_v) \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Donde:

- S = Tasa de acumulación de sólidos, (0.04 m³/(hab año) en fosas húmedas y 0.06 m³/(hab año) en fosas secas
- P = Número de habitantes
- A = Vida útil, (se recomienda de 5 a 10 años)
- V_v = Factor de vacío, se usa el valor de 1.33 porque la letrina se sella cuando la excreta ocupa tres cuartas partes del volumen

Complementariamente, la profundidad de la fosa "H" se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$H = \frac{V_r}{B} \quad \text{Ecuación 1.2}$$

Donde:

$$B = \text{Área de la base, en m}^2$$

1.7.3. EJEMPLO DE DISEÑO

Calcular el volumen requerido y la profundidad de una fosa cuadrada de 1 m² de área, una fosa rectangular de (1 m x 2 m) y una fosa cilíndrica de un metro de diámetro, considerando tasas de acumulación de 0.06 m³/(hab año), una vida útil de 5 y 10 años, para familias de 2, 4, 6, 8 y 10 usuarios, respectivamente. El cálculo se presenta en la Tabla 1.4 y Tabla 1.5.

La selección de cualquier opción dependerá del área del predio y de los recursos económicos con que cuente el usuario.

1.8. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

1.8.1. PROCEDIMIENTOS GENERALES

Una letrina bien construida debe complementarse con un mantenimiento adecuado, de lo contrario,

Tabla 1.4 Volumen requerido y profundidad de fosas, para una vida útil de 5 años

Habitantes	Tasa de acumulación de sólidos	Vida útil	Factor de volumen vacío	Volumen requerido	Profundidad de una fosa cuadrada	Profundidad de una fosa rectangular	Profundidad de una fosa cilíndrica
hab	m ³ /(hab año)	años		m ³	m	m	m
2	0.06	5	1.33	0.80	0.80	0.40	1.02
4				1.60	1.60	0.80	2.03
6				2.39	2.40	1.20	3.05
8				3.19	3.20	1.60	4.06
10				3.99	4.00	2.00	5.08

Tabla 1.5 Volumen requerido y profundidad de fosas, para una vida útil de 10 años

Habitantes	Tasa de acumulación de sólidos	Vida útil	Factor de volumen vacío	Volumen requerido	Profundidad de una fosa cuadrada	Profundidad de una fosa rectangular	Profundidad de una fosa cilíndrica
hab	m ³ /(hab año)	años		m ³	m	m	m
2	0.06	10	1.33	1.60	1.60	0.80	2.03
4				3.20	3.20	1.60	4.06
6				4.80	4.80	2.40	6.10
8				6.40	6.40	3.20	8.13
10				7.98	7.98	3.99	10.16

el lugar se llenará de moscas, mal olor y, lo que es más grave, será una fuente de enfermedades.

Para que lo antes mencionado no suceda, deben tomarse en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Conservar la letrina limpia
- No utilizarla como granero o bodega
- Cuando no esté en uso, mantenerla tapada para evitar que entren a la fosa mascotas u otros animales
- Los materiales que se usan para la limpieza anal deberán tirarse al interior de la fosa
- No arrojar dentro de la fosa agua de lluvia, cocina o de lavado, ni basura o ceniza

- No agregar desinfectantes a la fosa porque no permiten que se lleve a cabo la descomposición de los materiales que están en su interior
- Si la tapa o el asiento se deterioran o descomponen, deben arreglarse de inmediato para evitar la entrada de moscas al interior de la fosa

En el caso de las letrinas de arrastre hidráulico, solo se debe arrojar a la fosa el papel higiénico usado para la limpieza anal, ya que cualquier otro tipo de material obstruiría el tubo de caída de las excretas. Además, asegurarse que el recipiente de agua siempre esté lleno, para mantener el sello hidráulico.

1.8.2. OPERACIÓN DE LA LETRINA SECA VENTILADA DE FOSA PROFUNDA

- La caseta no se debe utilizar como almacén ni dormitorio de animales
- El papel sanitario se debe arrojar a la fosa para evitar el contagio de enfermedades
- Se debe excavar una nueva fosa antes de que se llene la que está en uso, aprovechando la losa y los materiales de la caseta para la fosa nueva

1.8.3. MANTENIMIENTO DE LA LETRINA SECA VENTILADA DE FOSA PROFUNDA

- Se debe mantener limpia la caseta, aseando el piso y la taza sin derramar agua en su interior
- El mosquitero de los tubos de ventilación debe conservarse en buen estado y repararse si se rompe
- En época de lluvias, vigilar que el agua no erosione la tierra alrededor de la fosa ni penetre en su interior. Si esto ocurre, rellenar con tierra apisonada y construir una cuneta para desviar los escurrimientos

1.8.4. OPERACIÓN DE LA LETRINA SECA VENTILADA DE DOS CÁMARAS

La letrina tiene dos cámaras, cada una con un hueco para la taza. Es muy importante que se use sólo una a la vez. Para mayor seguridad, es recomendable que únicamente se instale la taza que se vaya a usar y tapar el otro hueco.

Antes de poner a funcionar la letrina, se prepara la mezcla inicial que es un agregado de una medida (cubeta de 10 o 20 litros) de cal o ceniza, dos medidas de tierra y dos medidas de materia orgánica seca (aserrín, tamo de maíz, basura, paja de frijol, cascarilla de arroz o bagazo de caña). Agregar 10 litros de la mezcla a la cámara que se va a utilizar.

Enseguida se prepara la mezcla de uso diario mediante un agregado de una medida de cal o ceniza y dos medidas de tierra. De esta mezcla, se agrega en la taza un cuarto de litro después de cada ocasión que se use. Para garantizar el composteo del excremento, se adicionan 10 litros de mezcla inicial cada 30 días.

Se usa cada cámara hasta que se llene a tres cuartas de su capacidad. Entonces, para sellarla, se completa con materia orgánica seca mezclada con tierra, y se empieza a usar la otra cámara. Este proceso lleva de dos a tres años. En zonas frías, el proceso es más lento.

Cuando se repite el uso de la primera cámara, la composta que contiene puede ser usado para relleno de suelos.

1.8.5. MANTENIMIENTO DE LA LETRINA SECA VENTILADA DE DOS CÁMARAS

El mantenimiento de la letrina seca ventilada de dos cámaras consiste de:

- Mantener limpia la caseta, aseando el piso y la taza pero sin derramar agua en su interior

- Revisar cada año el mosquitero de los tubos de ventilación. Debe repararse si está roto
- Vigilar que el agua no erosione la tierra alrededor de la fosa ni penetre en su interior; si esto ocurre, la parte erosionada se llena con tierra bien apisonada y se construye una cuneta para controlar los escurrimientos
- No utilizar la caseta como almacén ni permitir que entren animales
- Después de defecar, arrojar un 1/4 de litro de la mezcla de uso diario
- Para evitar enfermedades, arrojar a la fosa el papel sanitario que se use
- No agregar desinfectantes dentro de la fosa
- Mantener tapada la taza
- Agregar 10 litros de la mezcla inicial para eliminar humedad, y garantizar la descomposición de la materia fecal cada 30 días
- Cada semana, agregar 10 litros de agua al filtro de orina
- Cuando los sólidos ocupen 3/4 de la cámara en uso, sellarla utilizando la mezcla inicial
- Vaciar la cámara sellada cuando sea necesario, utilizando guantes y pala. El contenido es una composta que puede utilizarse en plantas frutícolas y de ornato, así como en los cultivos de maíz y frijol. Si no se le quiere dar ese uso, se puede usar como relleno de suelos

1.8.6. MANTENIMIENTO DEL SANITARIO CON ARRASTRE HIDRÁULICO O LETRINAS HÚMEDAS

La disposición del efluente y el mantenimiento del tanque séptico son los problemas básicos del sistema sanitario húmedo.

El mantenimiento de la letrina o sanitario húmedo es sencillo. Consiste básicamente en barrer y lavar el sanitario por lo menos cada tres días, además de:

- Inspeccionar y reparar el tubo de ventilación
- Revisar el registro y vaciarlo cada año
- Inspeccionar el campo de absorción (zanjas o fosas). Si el agua está saliendo a la superficie, se tendrá que construir otro campo y usar adecuadamente el tanque séptico



2

TANQUES SÉPTICOS

2.1. INTRODUCCIÓN

En lugares donde no existe alcantarillado público y, por lo tanto, no es posible alejar los desechos líquidos de una vivienda con facilidad, se hace necesario usar sistemas individuales de disposición de excretas y otros residuos líquidos. El tanque séptico es el dispositivo más conveniente para resolver los problemas asociados al tratamiento de agua residual doméstica, de forma satisfactoria y prácticamente independiente de las condiciones geográficas del lugar; su campo de aplicación comprende:

- Viviendas individuales y pequeños grupos de casas o instituciones situados en zonas rurales y urbanas que cuentan con abastecimiento de agua intradomiciliaria, pero que carecen de alcantarillado
- Zonas rurales que disponen de norias o pozos con estanque de almacenamiento

Los porcentajes de remoción de DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y SS (sólidos en suspensión) que suelen obtenerse con los tanques sépticos de un compartimento son de 30 y 60 por ciento respectivamente. Por ello, es importante mencionar que su efluente se caracteriza por un alto contenido de nutrientes, gérmenes entéricos y, en general, materia orgánica finamente divi-

da y maloliente. Por lo anterior, es necesario someterlo a un proceso complementario antes de su disposición final.

La acción séptica o septización es un proceso biológico natural en el que las bacterias u otras formas vivas microscópicas, en ausencia de oxígeno, transforman la materia orgánica (que se encuentra en el agua residual principalmente como proteínas, carbohidratos y grasas) a materiales poco oxidados, que son los productos de degradación; entre ellos están el metano, anhídrido carbónico, nitritos y nitratos. El proceso biológico en las fosas sépticas representa aquella parte del ciclo de vida y muerte en que los materiales orgánicos se reducen a formas más simples que pueden servir de alimento a formas inferiores de la vida vegetal.

El tratamiento de las aguas residuales por procesos anaerobios ofrece la solución a los problemas del tratamiento y disposición de los desechos líquidos. En esta sección del libro centraremos nuestra atención en los tanques sépticos, dado que son dispositivos diseñados para retener el agua residual durante el tiempo necesario para lograr un proceso anaerobio.

Las aguas residuales sin ningún tratamiento taponarían rápidamente cualquier tipo de suelo,

pero el tanque séptico acondiciona estas aguas para que se puedan infiltrar con mayor facilidad en el subsuelo y, cuando sea el caso, como pretratamiento para arreglos formados por varios sistemas. Por tanto, su función más importante es conservar la capacidad de absorción del área en que se disponga. Para proporcionar esta protección, el tanque séptico debe cumplir con tres funciones:

- Eliminación de sólidos: al verter aguas negras en el subsuelo, éste se taponará más mientras más sólidos suspendidos contengan estas aguas, pero si antes pasan por un tanque séptico en el que se reduzca la velocidad de flujo, los sólidos mayores se sedimentarán en el fondo mientras que los ligeros se elevarán a la superficie y el efluente será un líquido clarificado
- Tratamiento biológico: en el interior del tanque se desarrollará el proceso anaerobio, por medio del cual la materia orgánica se transformará en líquidos y gases

- Almacenamiento de natas y lodos: los lodos son el resultado de la sedimentación de partículas sólidas en el fondo del tanque, mientras que la nata es la porción parcialmente sumergida de sólidos flotantes aglomerados en la superficie del fluido. Los lodos, y en menor proporción las natas, reducen su volumen con la digestión de los microorganismos. Sin embargo, queda un residuo de sólidos inertes al que debe proporcionarse un espacio de almacenamiento para evitar que el efluente los arrastre fuera del tanque

2.2. DESCRIPCIÓN

El tanque séptico es un depósito de uno o más compartimentos, impermeable, de escurrimiento continuo y forma rectangular o cilíndrica que recibe, además de la excreta y agua residual provenientes de los inodoros, aguas grises de origen doméstico. Su construcción es generalmente subterránea y puede hacerse de piedra, ladrillo, concreto u otro material re-

Ilustración 2.1 Tanque séptico convencional, construido en sitio



sistente a la corrosión. En algunos diseños, el depósito está equipado con pantallas o deflectores colgantes tanto en la entrada, para conseguir una distribución eficaz del agua y evitar altas velocidades, como en la salida, para evitar que escape la capa de espuma y nata que se forma durante su funcionamiento.

2.2.1. ELEMENTOS CONSTITUTIVOS

Tal como puede observarse en la Ilustración 2.3, los sistemas sépticos constan básicamente de dos partes:

- a) Tanque séptico, elemento donde se desarrollan los procesos de sedimentación y anaerobios
- b) Una instalación que trate el efluente del tanque séptico, generalmente se emplean zanjas, lechos o pozos de infiltración

Dependiendo de las características del agua residual, en algunas ocasiones es recomendable instalar una trampa para grasas y aceites, sobre todo cuando la concentración de grasas es superior a 150 mg/L. Por otro lado, cuando se construyen campos de oxidación o varios pozos de absorción para recibir el efluente del tanque séptico, es necesario instalar una caja de distribución de la cual se sacarán las tuberías necesarias, de acuerdo a los requerimientos de cada caso particular.

El tratamiento secundario del efluente de un tanque séptico se basa en la oxidación de la materia orgánica por la actividad de las bacterias aerobias. Éstas proliferan en las capas superiores del suelo y en los lechos de arena o piedra, a través de cuyos poros pasa de modo natural

el oxígeno del aire. En los métodos de irrigación del subsuelo y en los lechos filtrantes, el efluente se extiende con la mayor uniformidad posible sobre las partículas del suelo, arena o pequeñas piedras. Se forma entonces una capa de lodo con condiciones biológicas que permiten la actividad de los microorganismos y bacterias aerobias (Unda, 1993). Por ser los tanques sépticos la parte medular de este capítulo, y para iniciar con la descripción de su modo de operación, en este punto centraremos la atención exclusivamente en este primer elemento. En lo que se refiere a la instalación de zanjas, lechos o pozos de filtración, se recomienda revisar el libro *Tratamientos no convencionales para aguas residuales municipales*, del MAPAS.

2.2.2. FUNCIONAMIENTO

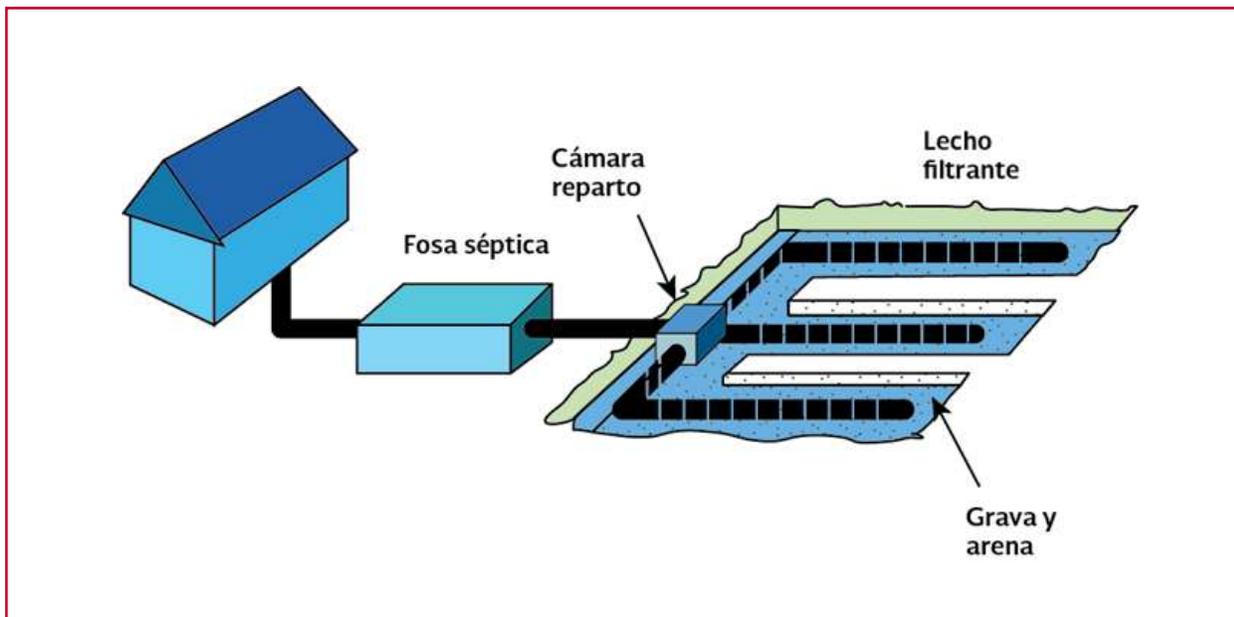
El tanque séptico está diseñado para cumplir con tres funciones importantes: sedimentación, almacenamiento y digestión de sólidos. A continuación se explica la forma en que éstas se llevan a cabo.

El agua residual fluye por gravedad desde la vivienda hasta el tanque, por medio de una tubería con un tubo en forma de "T", colocado verticalmente en el extremo, que descarga verticalmente a una profundidad no inferior a 0.35 m del nivel de agua. Una vez en el interior del tanque, el agua fluye lentamente para permitir que la materia sedimentable se precipite y acumule en el fondo, mientras que la mayoría de los sólidos ligeros, como la materia grasa, permanecen en el interior, formando en la superficie del agua una capa de nata o espuma que ayuda a reducir los movimientos bruscos del fluido, además de aislarlo del aire que pudiera entrar. Ver Ilustración 2.2.

Ilustración 2.2 Ejemplo de tanques sépticos prefabricados de metal y plástico



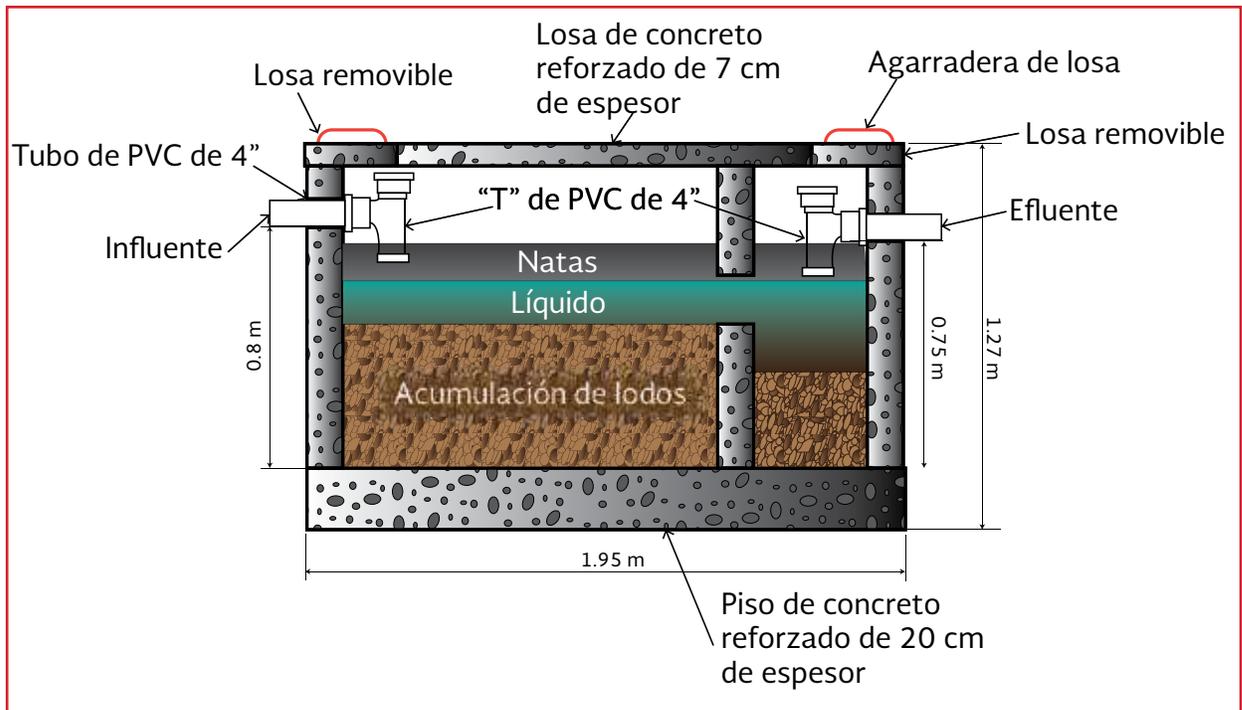
Ilustración 2.3 Elementos de un sistema séptico



Los sólidos retenidos en el tanque séptico permanecen en el interior del sistema durante un periodo de tiempo que va de dos a tres años, dependiendo de la capacidad del pozo, para que se establezca la digestión anaeróbica. Como resultado de lo anterior, una parte de la materia orgánica en suspensión pasa de la forma sólida a la líquida y gaseosa, reduciendo la cantidad de lodo acumulado que, sin embargo, constituye una cantidad finita que puede disminuir el volumen efectivo del tanque séptico y, por consiguiente, el tiempo de retención.

Finalmente, el líquido clarificado fluye por gravedad a través de una tubería colocada en el extremo opuesto a la entrada y penetra hasta un 40 por ciento del nivel del agua. Es posible utilizar difusores o pantallas, con la ventaja de que ofrecen un medio efectivo para retener la capa de espuma en el interior del tanque, logrando una mayor sedimentación. La cabeza superior de la tubería se deja destapada y se coloca en el espacio libre existente entre la cara inferior de la cubierta y el nivel del agua, a fin de permitir el escape de gases por la cañería del efluente del

Ilustración 2.4 Tanque séptico de un solo compartimento



tanque. El íntimo contacto del agua residual con la espuma y el lodo, en conjunto con la agitación de este último por el gas que asciende, tienden a hacer que el efluente del tanque tenga un alto contenido de nutrientes, gérmenes entéricos y, en general, materia orgánica finamente dividida y maloliente. Debe hacerse notar que, en las fosas sépticas, el gasto de escurrimiento del líquido que entra debe ser igual, en todo momento, al gasto de escurrimiento del líquido saliente. La disposición del efluente dependerá de la disponibilidad de terreno o de la cercanía de un cuerpo receptor.

2.3. TANQUES SÉPTICOS DE VARIOS COMPARTIMENTOS

Un tanque séptico de un solo compartimento tiene como elemento fundamental un depósito de concreto en el que las burbujas de gas producidas arrastran partículas de materia orgánica

en descomposición, inoculando de esta manera el líquido residual entrante con organismos necesarios para la putrefacción. Sin embargo, este mismo burbujeo a través del líquido obstaculiza, en cierto grado, la sedimentación normal de los residuos sólidos. Esta dificultad puede aminorarse agregando un segundo compartimento, en el que las materias más ligeras en suspensión que han pasado por el primero, encuentren condiciones más favorables para la sedimentación. Esto es particularmente útil cuando la descomposición anaerobia es rápida, y la cantidad de sólidos ya sedimentados en el primer compartimento es muy grande. La masa de lodos del depósito suplementario suele ser más homogénea, y tener un mayor grado de floculación que la del primero; se observa también una menor producción de espuma. El efluente de un tanque de este tipo, contendrá menor proporción de materias en suspensión que el procedente del sistema de compartimento único, a la vez que se permite mayor espaciamento entre dos limpiezas consecutivas (Reynolds, 1996).

El tanque séptico con doble compartimento ha tenido mucha aceptación debido a que no se incrementan en forma considerable los elementos y accesorios de un tanque sencillo. Sin embargo, aumentan los costos de construcción con relación a la capacidad extra del tanque de un compartimento. Los beneficios que ofrece se deben a la separación hidráulica y a la reducción o eliminación del mezclado. Este último puede ocurrir por la oscilación o turbulencia del agua, y puede minimizarse haciendo dos compartimentos de diferente tamaño, conectados por medio de un codo, y diseñados de tal manera que el primero tenga una capacidad igual a la mitad o a dos tercios del segundo, para reducir el flujo a través del área.

Como se mencionó antes, en el primer compartimento se mezclan el lodo y espuma con el líquido, debido a la turbulencia inducida por la entrada del agua residual y el proceso digestivo. El segundo compartimento recibe el efluente clarificado a tasas bajas de carga hidráulica, propiciando menos turbulencia y mejorando las condiciones existentes para la sedimentación de sólidos de baja densidad. El uso de un tercer compartimento permite separar las aguas grises de las residuales: en el primer depósito se recibe exclusivamente el agua que proviene del excusado, ahí se sedimenta y pasa a la segunda etapa, en la cual se consigue que continúe la remoción de sólidos. El agua sigue fluyendo hasta el tercer compartimento, en el que también se reciben las aguas grises. La ventaja de esta estrategia es que el efluente final del tanque séptico contiene una cantidad menor de organismos patógenos, además de una proporción menor de sólidos. Esto último implica que el tanque será capaz de servir a una población de entre 200 y 300 personas. Se ha comprobado que añadir compartimentos extra no tiene utilidad práctica.

2.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

El uso de tanques sépticos como sistema de saneamiento ofrece las ventajas que se enlistan a continuación:

- Debido a que no tienen partes mecánicas, necesitan muy poco mantenimiento y atención
- Flexibilidad y adaptabilidad para una amplia variedad de necesidades de disposición de los desechos de cada vivienda
- Puede tratar cualquier agua residual doméstica, como la procedente de baños y cocinas, sin riesgo de alterar su funcionamiento normal
- La cantidad de lodo generado durante su operación es poco significativa

Las desventajas de este tipo de sistemas son:

- Requieren de la existencia de abastecimiento de agua por tuberías
- Son más caros que otros sistemas de tratamiento *in situ*
- Necesitan de un suelo con área suficiente y de naturaleza permeable, que permita la absorción del efluente

2.5. DISEÑO

2.5.1. REQUERIMIENTOS

El tanque séptico se debe diseñar con capacidad para remover casi todos los sólidos sedimentables y descomponer los elementos orgánicos en forma anaeróbica. Para cumplir con este fin, el diseño debe contar con lo siguiente:

- Volumen que permita retener apropiadamente el agua residual. Para la sedimentación efectiva de los sólidos, el tiempo mínimo de retención del agua es de 24 horas. Las dimensiones del tanque, una vez que se ha establecido el tiempo de retención, dependen principalmente del número de personas que utilizarán el servicio
- Ubicación apropiada de los dispositivos de entrada y salida, así como volumen adecuado para evitar que el lodo y nata sobrenadantes salgan con el efluente. La entrada del tanque séptico se diseña para disipar la energía del agua entrante, minimizar turbulencia y prevenir cortos circuitos. Las estructuras de salida deben retener lodo y nata, ya sea en el primero o segundo compartimento. Con respecto a la acumulación de nata y lodo, se recomienda dejar un volumen adicional de 70 L/(hab año)
- El proceso de digestión en los tanques sépticos es anaeróbico y por lo tanto la ventilación directa no es necesaria. Sin embargo, se deben tomar precauciones para que salgan los gases que se producen dentro del tanque. En algunos diseños, esto se hace mediante un tubo de ventilación con el extremo superior protegido con tela mosquitera

2.5.2. BASES DE DISEÑO PARA EL TANQUE SÉPTICO

Existen tres factores básicos que intervienen en el diseño de un tanque séptico:

- a) La población a la cual servirá: el flujo de agua que el tanque reciba dependerá de

este valor y de la aportación promedio según la región de que se trate

- b) El periodo de retención: es decir, el tiempo que el líquido permanece en el interior del tanque, mismo que puede variar de uno a tres días, siendo 24 horas el más usual
- c) Espacio dejado para la acumulación de nata y lodos: este volumen dependerá de la frecuencia de vaciado, usualmente dos o tres años y de la población que usa el tanque

2.5.3. GASTO DE APORTE

El primer paso al seleccionar el volumen de un tanque séptico es determinar la generación media diaria de agua residual. Esto depende de la población y de la cantidad de agua que se consume en promedio en la región de que se trate.

Para la estimación del consumo por habitante se pueden utilizar los valores presentados en el libro *Datos básicos para proyectos de agua potable y alcantarillado*, del MAPAS, y que se presentan en la Tabla 2.1.

El valor de la aportación se calcula multiplicando el dato de la dotación obtenido por 0.7 o 0.75, con lo que se obtiene el volumen, por habitante por día, que se vierte a la red de alcantarillado.

2.5.4. VOLUMEN DEL TANQUE

El volumen del tanque séptico, en función del aporte por clima, tipo y cantidad de habitantes, resulta:

$$V_i = A_p P t \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Tabla 2.1 Promedio del consumo de agua potable estimado por clima predominante

Clima	Consumo L/(hab d)			Subtotal por clima
	Bajo	Medio	Alto	
Cálido húmedo	198	206	243	201
Cálido subhúmedo	175	203	217	191
Seco o muy seco	184	191	202	190
Templado o frío	140	142	145	142

Donde:

V_t = Volumen de tanque (L)

A_p = Aportación de aguas negras en L/(hab d)

P = Población, en número de habitantes

t = Tiempo de retención, (días)

Sin embargo, la experiencia indica que los tanques sépticos, especialmente los pequeños, rara vez reciben el mantenimiento adecuado. Por lo tanto, es muy importante que su capacidad sea suficiente para operar sin trastornos durante periodos de tiempo razonablemente largos. Se recomienda que la capacidad mínima sea de 2 000 litros. En cuanto al límite superior para el uso de tanques sépticos, se recomienda que el caudal máximo a tratar sea de 35 000 litros.

El volumen calculado con la Ecuación 2.1 no incluye la acumulación de lodo, por lo que se debe dejar un margen de 70 litros de lodo al año. Entonces, el volumen total del tanque séptico resulta:

$$V_T = V_i + V_L P t_{vu} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Donde:

V_T = Volumen total del tanque séptico, (L)

V_L = Volumen de lodos por año (70 L/hab/año)

t_{vu} = Tiempo de vida útil del tanque séptico en años

2.5.5. DIMENSIONES DEL TANQUE

Una vez calculado el volumen del tanque séptico, el siguiente paso consiste en determinar la forma y dimensiones. Como se mencionó anteriormente, la eficiencia de la sedimentación del tanque esta relacionada con su área superficial, mientras que la capacidad de almacenamiento esta relacionada con la profundidad.

Con el objeto de asegurar un área superficial adecuada, se recomienda que la relación largo-ancho del depósito esté en el rango de 2:1 a 3:1. Cualquier valor dentro del rango mencionado proporciona buenos resultados.

Con respecto a la profundidad, se recomienda utilizar los valores de la Tabla 2.2.

Finalmente, para la altura total del tanque séptico se debe considerar que la profundidad calculada para el volumen total, V_T , corresponde al 80 por ciento de la altura total, la cual puede estimarse de la siguiente manera:

$$H_T = P_{VT} \frac{1}{0.8} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Donde:

H_T = Altura total del tanque séptico, (m)

Tabla 2.2 Profundidad en función de la población

Profundidad	Número de habitantes
m	
1.7	19
2.0	30
2.3	50
2.5	100

P_{VT} = Profundidad calculada para el volumen total, (m)

$$V_T = abP_{VT} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Donde:

a = Ancho del tanque, (m)

b = Largo del tanque, (m)

2.5.6. EJEMPLO DE DISEÑO

Como ejemplo calcularemos el diseño de un tanque séptico de un compartimento, para una comunidad de clima seco y nivel socioeconómico medio, de acuerdo con los datos de la Tabla 2.3.

Considerando una relación de 3:1 y el valor de profundidad de la tabla 2.2.

$$b = 3a$$

Entonces, usando la Tabla 2.1, el gasto de aporte resulta:

$$V_T = 3a^2P_{VT}$$

$$A_p = 0.75(191) = 143.25 \frac{L}{hab \text{ día}}$$

Por tanto las dimensiones del tanque resultan:

Y el volumen del tanque se calcula como:

$$a = \left(\frac{V_T}{3P_{VT}} \right)^{0.5}$$

$$= \left(\frac{28.325}{3 \cdot 2.5} \right)^{0.5} = 1.94 \approx 2m$$

$$V_t = A_p P t = 143.25(100)(1) = 14 \ 325 \ L$$

$$b = 3a = 3(2) = 6m$$

Por su parte, el volumen total del tanque, considerando la acumulación de lodos, resulta:

Finalmente la altura total resulta:

$$V_T = V_t + V_L P t_{vu}$$

$$= 14 \ 325 + 70(100)(2)$$

$$= 28 \ 325 \ L$$

$$H_T = P_{VT} \frac{1}{0.8}$$

$$= 2.5 \frac{1}{0.8} = 3.125m$$

Para el cálculo de las dimensiones del tanque se tiene que:

Para el rango de población de 1 a 20 habitantes, se recomienda el uso de tanques con dos

Tabla 2.3 Datos para ejemplo

Parámetro	Valor	Unidades
Población	100	hab
Tiempo de retención	1	d
Tiempo de vida útil	2	años

compartimentos, debido a que los tanques con volumen pequeño resultan más sensibles a la oscilación causada por el agua entrante. Como se mencionó antes, la capacidad de la primera cámara debe ser de la mitad a las dos terceras partes del volumen total. En la Tabla 2.4 y la Tabla 2.5 se resume el cálculo para tanques sépticos que sirven a una población de entre una y cien personas, con las mismas consideraciones que el ejemplo anterior. Nótese que el volumen total se ajustó para que cumplier con el límite inferior de dos mil litros.

2.6. ESPECIFICACIONES GENERALES DEL TANQUE SÉPTICO

2.6.1. FORMA DE LA UNIDAD

Es importante la forma de la unidad pues de ella depende la velocidad de circulación del líquido, el espesor de la capa de lodo acumulado y la posibilidad de que el líquido se estanque. Si la unidad tuviese demasiada profundidad con

Tabla 2.4 Cálculo para tanques en función de la población

Número de habitantes	Número de cámaras	Dotación	A_p	V_t	V_T	
		L/(hab d)	L/(hab d)	L	L	
5	2	191	143.25	716.25	1 416.25	2 000.00
10	2	191	143.25	1 432.5	2 832.50	2 832.50
15	2	191	143.25	2 148.75	4 248.75	4 248.75
20	2	191	143.25	2 865.00	5 665.00	5 665.00
30	2	191	143.25	4 297.50	8 497.50	8 497.50
40	2	191	143.25	5 730.00	11 330.00	11 330.00
60	2	191	143.25	8 595.00	16 995.00	16 995.00
80	2	191	143.25	11 460.00	22 660.00	22 660.00
100	2	191	143.25	14 325.00	28 325.00	28 325.00

Tabla 2.5 Dimensiones de los tanques en función de la población

Número de habitantes	P_{VT}	a	b	H_T	Largo cámara 1	Largo cámara 2	Ancho	H_T
	m	m	m	m	m	m	m	m
5	1.7	0.63	1.88	2.13	1.3	0.6	0.6	2.1
10	1.7	0.75	2.24	2.13	1.5	0.7	0.7	2.1
15	1.7	0.91	2.74	2.13	1.8	0.9	0.9	2.1
20	2	0.97	2.92	2.50	1.9	1.0	1.0	2.5
30	2	1.19	3.57	2.50	2.4	1.2	1.2	2.5
40	2.3	1.28	3.84	2.88	2.6	1.3	1.3	2.9
60	2.5	1.51	4.52	3.13	3.0	1.5	1.5	3.1
80	2.5	1.74	5.21	3.13	3.5	1.7	1.7	3.1
100	2.5	1.94	5.83	3.13	3.9	1.9	1.9	3.1

respecto al resto de sus dimensiones, se produciría una corriente directa desde la entrada a la salida y el periodo de retención disminuiría considerablemente. Si, por el contrario, la unidad tuviese muy poca profundidad, el espacio libre del lodo sería demasiado pequeño y la sección transversal útil se reduciría innecesariamente. Cuando la anchura es excesiva, existirán grandes espacios muertos en las esquinas debido a que el líquido tiene poco o ningún movimiento. Por último, si el tanque fuese demasiado estrecho, la velocidad de circulación sería tan grande que no se produciría una sedimentación eficaz (Perkins, 1990).

Se recomienda que el primer compartimento tenga siempre una capacidad superior a 1 893 litros, que el nivel mínimo de agua en su interior sea de 0.9 m, y que la longitud de los depósitos rectangulares sea de por lo menos el doble, pero no más del triple de su anchura (relación entre el largo y el ancho de 2:1 a 3:1). En términos generales es mejor construir tanques con área superficial grande y profundidad corta, ya que al aumentar el área superficial se incrementa la capacidad de almacenamiento. El volumen de flujo entrante crea una pequeña elevación en la profundidad del agua y una tasa de descarga baja. La velocidad de salida y las oleadas de flujo a través del tanque son atenuadas. Esto permite un tiempo suficiente de separación de espuma y lodo, que son mezclados por la turbulencia resultante a la entrada.

La forma de fosa séptica más simple para una vivienda puede ser un tanque de un solo compartimento, cuyo volumen mínimo sea de 1 893 litros, con margen para la acumulación de setenta litros de lodo al año. En los depósitos de doble compartimento no existe ninguna diferencia de rendimiento entre la forma rectangular y la

cilíndrica, siempre que la capacidad de almacenamiento de lodos sea la misma. Es necesario dejar espacio para la porción de nata que se formará en la superficie del líquido. La distancia de la cubierta del tanque al nivel del agua debe ser de un 20 por ciento de la profundidad del tanque. En tanques cilíndricos de eje horizontal, es conveniente dejar como espacio libre un área que corresponda al 15 por ciento del área total del círculo.

2.6.2. DISPOSITIVOS DE ENTRADA Y SALIDA

Los dispositivos de entrada y salida son muy diferentes y, sin embargo, hay algunos requerimientos comunes que se deben considerar. Es muy importante la profundidad a la que penetren en el líquido que contiene el tanque, ya que de ello depende el volumen de los espacios de clarificación y acumulación de lodos. Investigaciones experimentales demuestran que los mejores resultados se obtienen cuando el dispositivo de salida penetra hasta una profundidad del 40 por ciento de la capa líquida, mientras que se recomienda instalar el de la entrada a 35 cm por debajo del nivel. Para facilitar una buena ventilación, el extremo superior de la "T" de cada tubería debe estar a por lo menos 15 cm de altura sobre la superficie del agua y tener como mínimo 2.5 cm de espacio libre bajo la cubierta del tanque. Cuando se utilizan pantallas, éstas suelen colocarse a 20 o 30 cm de los orificios de entrada y salida y los extremos de las tuberías correspondientes deben estar a ras con la pared del depósito. La rampa descendente debe estar a cinco cm, como mínimo, por encima del nivel de agua.

Para efectuar las conexiones entre los compartimentos de un tanque séptico, lo más convenien-

te es usar una “L” cuyo extremo inferior penetre en el líquido a una profundidad menor que la del orificio de salida. Independientemente del número de compartimentos, todas las tuberías deberán tener mínimo 10 cm de diámetro.

2.7. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DEL DEPÓSITO

Los tanques sépticos deben ser herméticos y estar construidos con materiales resistentes a la corrosión y a la putrefacción. Por lo general, el concreto ofrece todas las garantías de resistencia e impermeabilidad. En ocasiones se construyen con una losa de concreto el fondo y en la tapa, mientras que las paredes son de mampostería. El espesor mínimo del depósito depende del material de construcción (65 mm en el caso del concreto). Los tubos de entrada y salida se sellan con un compuesto que se adhiera tanto a ellos como al concreto. Otros materiales usados en la fabricación de los tanques sépticos son el polietileno y la fibra de vidrio, pues son livianos, fáciles de transportar y resistentes a la corrosión.

Algunos autores recomiendan que la base del tanque tenga forma de una tolva, para facilitar la extracción del lodo por la parte central del tanque, aunque lo más usual es hacerlo a través del registro, mediante equipo mecánico.

El requisito más importante para la instalación de un tanque séptico es que el depósito esté a un nivel y profundidad que permitan un flujo por gravedad adecuado desde la vivienda. La cubierta del depósito debe tener una resistencia suficiente para soportar el peso de la capa de tierra, así como cargas suplementarias que pueda recibir ocasionalmente. Cuando el depósito esté protegido contra la penetración de las aguas resi-

duales, se pueden utilizar losas de varias secciones. En caso contrario, la cubierta debe formar un solo bloque con las paredes, y llevar bocas de acceso para inspección de 50 cm de lado o 61 cm de diámetro. Para los tanques pequeños basta con una boca situada sobre la tubería de entrada, mientras que en los depósitos grandes es necesario colocar dos, una sobre la tubería de entrada y otra sobre la de salida. Por último, se comprueba la hermeticidad del tanque, y antes de sellar el depósito se debe llenar de agua hasta el orificio de salida, y sembrarse con 30 o 50 litros de lodo activo proveniente de otro tanque, o incluso con estiércol fresco de caballo.

2.8. LOCALIZACIÓN

Al igual que otras tecnologías de saneamiento, la localización de los tanques sépticos requiere la consideración de algunos aspectos para evitar que el sistema genere riesgos en lugar de beneficios a la salud.

Con el objeto de evitar la contaminación, tanto los tanques sépticos como los sistemas de disposición del efluente deberán:

- Localizarse lejos de cualquier fuente de abastecimiento de agua, dada la posibilidad de que se produzcan fugas, especialmente alrededor de las tuberías de entrada y salida
- Situarse en un plano más bajo que los pozos de agua y otros manantiales
- Tomar en cuenta la topografía del terreno, sobre todo para asegurar que el efluente del tanque se distribuya uniformemente al sistema de evacuación

La distancia respecto a estructuras ya existentes y la selección del sistema de evacuación depen-

derán del espacio disponible para la construcción del sistema séptico. La tabla 2.2 muestra las distancias mínimas requeridas.

2.9. INSPECCIÓN Y LIMPIEZA

Los lodos acumulados en el tanque séptico deben extraerse periódicamente a través del registro de limpieza ubicado en la cubierta del tanque; de lo contrario disminuirá el volumen, originando trastornos como la disminución del tiempo de retención y, por tanto, un aumento en la velocidad del flujo.

El periodo de tiempo entre limpiezas depende principalmente del número de personas a quienes el tanque dé servicio. El sedimento se acumula a razón de 0.3 y 0.4 metros cúbicos por persona al año así que, dependiendo de la cantidad de usuarios y el volumen del tanque, el intervalo entre dos vaciados sucesivos de lodo se puede calcular de la siguiente manera:

$$I_{lim} = \frac{\frac{1}{3} V_T}{I_a} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Donde:

I_{lim} = Intervalo de tiempo entre limpiezas, en años

I_a = Tasa de acumulación de lodos, en L/año

V_T = Volumen total del tanque, en L

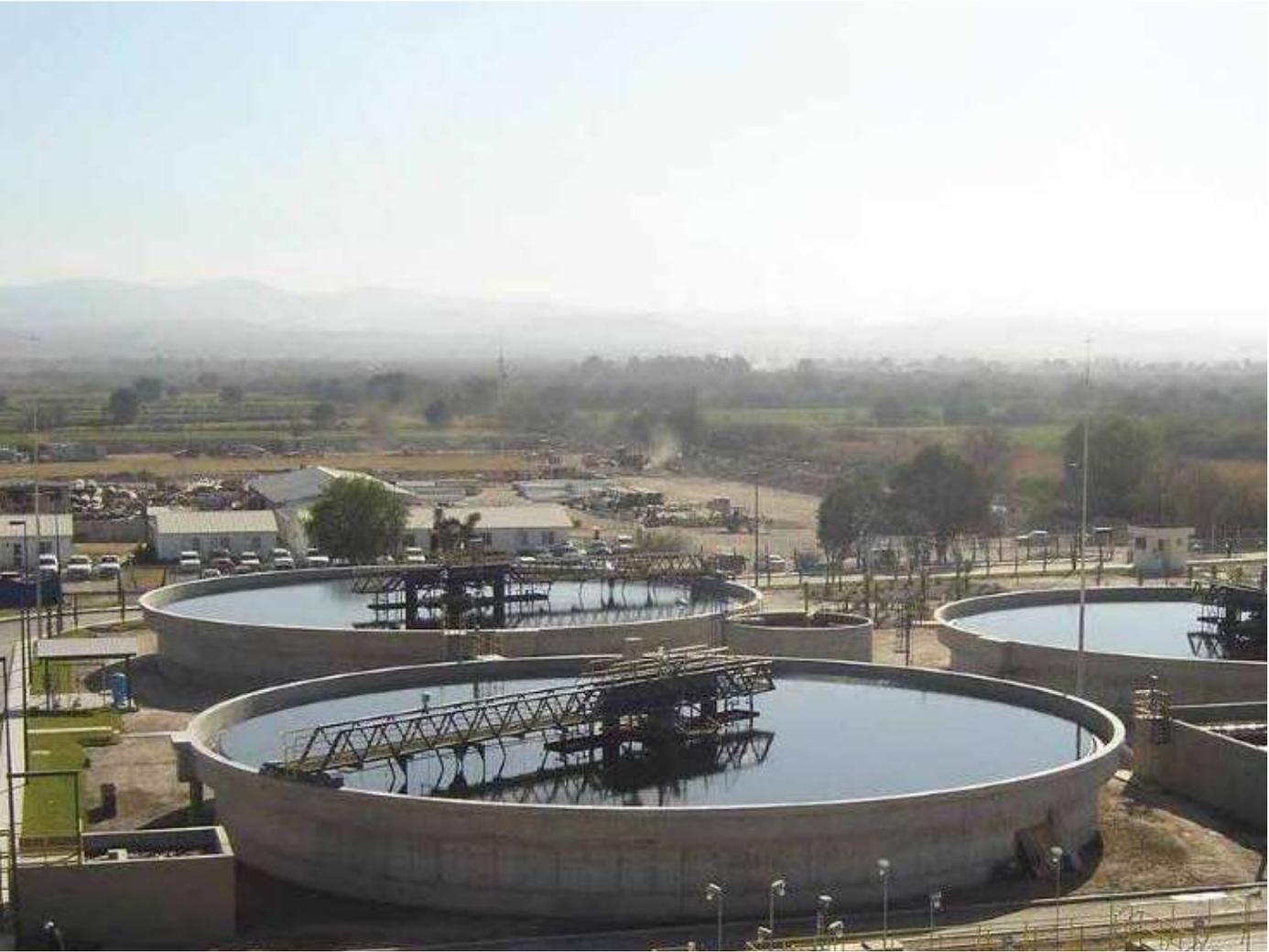
Cuando se haya acumulado gran cantidad de sólidos o natas, los tanques sépticos deberán limpiarse para evitar la salida de sólidos con el efluente, mismos que podrían obstruir el sistema de infiltración. Normalmente, los tanques sépticos domésticos no requieren limpieza antes de cinco años de operación, pero es necesario inspeccionarlos cuando menos cada año a través de los registros ubicados arriba del elemento de salida sobre la cubierta del tanque. La caja de distribución del tanque se debe revisar con mayor frecuencia, de cada tres a seis meses. Es recomendable que el propietario conserve un plano de ubicación para localizar la unidad fácilmente cuando requiera llevar a cabo las operaciones de inspección y limpieza. La inspección del tanque séptico tiene por objeto determinar:

- El espacio libre de espuma, es decir, la distancia del fondo de la espuma al extremo inferior del tubo de salida
- El espesor de la capa de lodo acumulada en el fondo del tanque

En general, el tanque se debe limpiar cuando el fondo de la capa de nata esté a menos de 8 cm de la toma del dispositivo de descarga.

Tabla 2.6 Requerimientos para ubicar un tanque séptico

Elemento de protección	Distancia al tanque séptico m	Distancia al sistema de evacuación m
Edificios	3	10
Límite de propiedad	1.5	1.5
Pozos domésticos	50	100
Pozos públicos	100	200
Cursos de agua	50	100
Tuberías de agua	3	3
Árboles grandes	3	3
Lagos	60	100



CONCLUSIONES DEL LIBRO

El saneamiento en las comunidades rurales es una de las actividades más importantes para su desarrollo y salud. El buen manejo de las excretas y aguas residuales genera una cultura positiva dentro de la sociedad que se transmite de generación en generación y es justamente dicha cultura lo que se busca inculcar.

En este texto se plasman dos técnicas y procesos para el saneamiento rural: una para aquellas comunidades donde el abasto de agua no es ningún problema y otra para comunidades donde el agua escasea.

En la primera parte del libro se describen los distintos tipos de letrinas, las cuales se usan para el confinamiento y tratamiento de las excretas humanas, las cuales pueden construirse con mínimos conocimientos técnicos. Este tipo de obras proporcionan una solución económica para la disposición y tratamiento de los excrementos, en comunidades rurales y marginadas donde la dispersión de la población y la cantidad de agua disponible limitan el uso de otras opciones.

La letrina con arrastre hidráulico, por sus características funcionales, es útil para localidades donde no se tienen problemas de abastecimiento de agua. Por otra parte los sanitarios secos, además de cumplir con los objetivos de las letrinas y de los sanitarios con arrastre hidráulico, tienen el propósito de ofrecer un beneficio extra tanto para el usuario como para el medio rural en el que vive.

La segunda parte del libro describe el funcionamiento y diseño de los tanques sépticos, que representan una alternativa para grupos de viviendas en donde no existe alcantarillado público y, por lo tanto, no es posible alejar los desechos líquidos de una vivienda con facilidad. El tanque séptico es el dispositivo más conveniente para resolver satisfactoriamente los pro-

blemas asociados al tratamiento de agua residual doméstica, sin importar las condiciones geográficas del lugar.

Cabe mencionar que los tanques sépticos son aplicables, también, como un tratamiento primario para sistemas de infiltración u oxidación. Es por ello que la información de este libro se complementa con el libro *Tratamientos no convencionales para aguas residuales municipales*, del MAPAS.

Recuerde que los procedimientos y datos presentados en este libro, obedecen a la experiencia de especialistas en la materias. Sin embargo, en ningún caso debe considerarse esta información como reglamento o norma oficial, mas bien como una guía para el proceso de diseño y selección de alternativas de tratamiento básico.

BIBLIOGRAFÍA

- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2008). *Especificaciones técnicas para el diseño de letrinas con arrastre hidráulico*. Lima, Perú: COSUDE.
- Comisión Nacional del Agua. (1999). *NOM-006-CNA-1997 Fosas sépticas prefabricadas, Especificaciones y métodos de prueba*. Mexico, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente, recursos naturales y pesca.
- Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Guía de diseño de letrina con arrastre hidráulico y letrina de pozo anegado*. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Perkins, R. (1990). *Onsite Wastewater Disposal*. (2a. ed.). Michigan, EE.UU: Lewis Publishers.



TABLA DE CONVERSIONES DE UNIDADES DE MEDIDA

Sigla	Significado	Sigla	Significado
mg	miligramo	kg/m ³	kilogramo por metro cúbico
g	gramo	l/s	litros por segundo
kg	kilogramo	m ³ /d	metros cúbicos por día
mm	milímetro	Sm ³ /h	condiciones estándar de metro cúbico por hora
cm	centímetro	Scfm	condiciones estándar de pies cúbicos por minuto
m	metro	°C	grados Celsius
ml	mililitro	psia	libra-fuerza por pulgada cuadrada absoluta
l	litro	cm/s	centímetro por segundo
m ³	metro cúbico	m/s	metro por segundo
s	segundo	HP	caballo de fuerza (medida de energía)
h	hora	kW	kilowatt
d	día	UNT	unidades nefelométricas de turbiedad
mg/l	miligramo por litro		

Longitud

Sistema métrico	Sistema Inglés	Siglas
1 milímetro (mm)	0.03	in
1 centímetro (cm) = 10 mm	0.39	in
1 metro (m) = 100 cm	1.09	yd
1 kilómetro (km) = 1 000 m	0.62	mi
Sistema Inglés	Sistema métrico	
1 pulgada (in)	2.54	cm
1 pie (ft) = 12 pulgadas	0.30	m
1 yarda (yd) = 3 pies	0.91	m
1 milla (mi) = 1 760 yardas	1.60	km
1 milla náutica (nmi) = 2 025.4 yardas	1.85	km

Superficie

Sistema métrico	Sistema inglés	Siglas
1 cm ² = 100 mm ²	0.15	in ²
1 m ² = 10 000 cm ²	1.19	yd ²
1 hectárea (ha) = 10 000 m ²	2.47	acres
1 km ² = 100 ha	0.38	mi ²
Sistema Inglés	Sistema métrico	
1 in ²	6.45	cm ²
1 ft ² = 144 in ²	0.09	m ²
1 yd ² = 9 ft ²	0.83	m ²
1 acre = 4 840 yd ²	4 046.90	m ²
1 milla ² = 640 acres	2.59	km ²

Volumen/capacidad

Sistema métrico	Sistema inglés	Siglas
1 cm ³	0.06	in ³
1 dm ³ = 1 000 cm ³	0.03	ft ³
1 m ³ = 1 000 dm ³	1.30	yd ³
1 litro (L) = 1 dm ³	1.76	pintas
1 hectolitro (hL) = 100 L	21.99	galones
Sistema Inglés	Sistema métrico	
1 in ³	16.38	cm ³
1 ft ³ = 1 728 in ³	0.02	m ³
1 onza fluida EUA = 1.0408 onzas fluidas RU	29.57	mL
1 pinta (16 onzas fluidas) = 0.8327 pintas RU	0.47	L
1 galón EUA = 0.8327 galones RU	3.78	L

Masa/peso

Sistema métrico	Sistema inglés	
1 miligramo (mg)	0.0154	grano
1 gramo (g) = 1 000 mg	0.0353	onza
1 kilogramo (kg) = 1 000 g	2.2046	libras
1 tonelada (t) = 1000 kg	0.9842	toneladas larga
Sistema Inglés	Sistema métrico	
1 onza (oz) = 437.5 granos	28.35	g
1 libra (lb) = 16 oz	0.4536	kg
1 stone = 14 lb	6.3503	kg
1 hundredweight (cwt) = 112 lb	50.802	kg
1 tonelada larga = 20 cwt	1.016	t

Temperatura

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} (^{\circ}\text{C}) + 32$$

Otros sistemas de unidades		Multiplicado por	Sistema Internacional de Unidades (SI)	
Unidad	Símbolo	Factor de conversión	Se convierte a	
Longitud				
Pie	pie, ft.,'	0.30	metro	m
Pulgada	plg, in,"	25.40	milímetro	mm
Presión/esfuerzo				
Kilogramo fuerza/cm ²	kg _f /cm ²	98 066.50	pascal	Pa
Libra/pulgada ²	lb/ plg ² , PSI	6 894.76	pascal	Pa
atmósfera técnica	at	98 066.50	pascal	Pa
metro de agua	m H ₂ O (mca)	9 806.65	pascal	Pa
mm de mercurio	mm Hg	133.32	pascal	Pa
bar	bar	100 000.00	pascal	Pa
Fuerza/ peso				
kilogramo fuerza	kg _f	9.80	newton	N
Masa				
libra	lb	0.45	kilogramo	kg
onza	oz	28.30	gramo	g
Peso volumétrico				
kilogramo fuerza/m ³	kg _f /m ³	9.80	N/m ³	N/m ³
libra /ft ³	lb/ft ³	157.08	N/m ³	N/m ³
Potencia				
caballo de potencia	CP, HP	745.69	watt	W
caballo de vapor	CV	735.00	watt	W
Viscosidad dinámica				
poise	μ	0.01	pascal segundo	Pa s
Viscosidad cinemática				
viscosidad cinemática	v	1	stoke	m ² /s (St)
Energía/ Cantidad de calor				
caloría	cal	4.18	joule	J
unidad térmica británica	BTU	1 055.06	joule	J
Temperatura				
grado Celsius	°C	tk=tc + 273.15	grado Kelvin	K

Nota: El valor de la aceleración de la gravedad aceptado internacionalmente es de 9.80665 m/s²

Longitud								
de / a	mm	cm	m	km	mi	milla náutica (nmi)	ft	in
mm	1.000	0.100	0.001					
cm	10000	1.000	0.010				0.033	0.394
m	1 000.000	100.000	1.000	0.001			3.281	39.370
km			0.001	1.000	0.621	0.540	3 280.83	0.039
mi			1 609.347	1.609	1.000	0.869	5 280.000	
nmi			1 852.000	1.852	1.151	1.000	6 076.115	
ft		30.480	0.305				1.000	12.000
in	25.400	2.540	0.025				0.083	1.000

Superficie								
de / a	cm ²	m ²	km ²	ha	mi ²	acre	ft ²	in ²
cm ²	1.00						0.001	0.155
m ²	10 000.00	1.00					10.764	1 550.003
km ²			1.000	100.000	0.386	247.097		
ha		10 000.00	0.010	1.000	0.004	2.471		
mi ²			2.590	259.000	1.000	640.000		
acre		4 047.00	0.004	0.405	0.002	1.000		
ft ²	929.03	0.09					1.000	0.007
in ²	6.45						144.000	1.000

Volumen								
de / a	cm ³	m ³	L	ft ³	gal. EUA	acre-ft	in ³	yd ³
cm ³	1.000		0.001				0.061	
m ³		1.000	1 000.000	35.314	264.200			1.307
L	1 000.000	0.001	1.000	0.035	0.264		61.023	
ft ³		0.028	28.317	1.000	7.481			0.037
gal. EUA		0.004	3.785	0.134	1.000		230.974	
acre-ft		1 233.490				1.000		
in ³	16.387		0.016		0.004		1.000	
Yd ³		0.765		27.000				1.000

Gasto								
de / a	l/s	cm ³ /s	gal/día	gal/min	l/min	m ³ /día	m ³ /h	ft ³ /s
l/s	1.000	1 000.000		15.851	60.000	86.400	3.600	0.035
cm ³ /s	0.001	1.000	22.825	0.016	0.060	0.083		
gal/día		0.044	1.000			0.004		
gal/min	0.063	63.089	1 440.000	1.000	0.000	5.451	0.227	0.002
l/min	0.017	16.667	0.000	0.264	1.000	1.440	0.060	
m ³ /día	0.012	11.570	264.550	0.183	0.694	1.000	0.042	
m ³ /h	0.278		6 340.152	4.403	16.667	24.000	1.000	0.010
ft ³ /s	28.316			448.831	1 698.960	2 446.590	101.941	1.000

Eficiencia de pozo			
de	a	gal/min/pie	l/s/m
gal/min/pie		1.000	0.206
l/s/m		4.840	1.000

Permeabilidad							
de	a	cm/s	gal/día/Pie ²	millones gal/día/acre	m/día	pie/s	Darcy
cm/s		1.000	21 204.78		864.000	0.033	
gal/día/pie ²			1.000		0.041		0.055
millón gal/día/acre				1.000	0.935		
m/día		0.001	24.543	1.069	1.000		1.351
pie/s		30.480			26 334.72	1.000	
Darcy			18.200		0.740		1.000

Peso									
de	a	grano	gramo	kilogramo	libra	onza	tonelada corta	tonelada larga	tonelada métrica
Grano (gr)		1.000	0.065						
Gramo (g)		15.432	1.000	0.001	0.002				
Kilogramo (kg)			1 000.000	1.000	2.205	35.273			0.001
Libra (lb)			453.592	0.454	1.000	16.000			
Onza (oz)		437.500	28.350			1.000			
t corta				907.180	2 000.000		1.000		0.907
t larga				1 016.000	2 240.000		1.119	1.000	1.016
t métrica				1 000.000	2 205.000		1.101	0.986	1.000

Potencia									
de	a	CV	HP	kW	W	ft lb/s	kg m/s	BTU/s	kcal/s
CV		1.000	0.986	0.736	735.500	542.500	75.000	0.697	0.176
HP		1.014	1.000	0.746	745.700	550.000	76.040	0.706	0.178
kW		1.360	1.341	1.000	1 000.000	737.600	101.980	0.948	0.239
W				0.001	1.000	0.738	0.102		
ft lb/s					1.356	1.000	0.138	0.001	
kg m/s		0.013	0.013	0.009	9.806	7.233	1.000	0.009	0.002
BTU/s		1.434	1.415	1.055	1 055.000	778.100	107.580	1.000	0.252
kcal/s		5.692	5.614	4.186	4 186.000	3 088.000	426.900	3.968	1.000

Presión								
de	a	atmósfera	Kg/cm ²	lb/in ²	mm de Hg	in de Hg	m de H ₂ O	ft de H ₂ O
atmósfera		1.000	1.033	14.696	760.000	29.921	10.330	33.899
kg/cm ²		0.968	1.000	14.220	735.560	28.970	10.000	32.810
lb/in ²		0.068	0.070	1.000	51.816	2.036	0.710	2.307
mm de Hg		0.001	0.001	0.019	1.000	0.039	0.013	0.044
in de Hg		0.033	0.035	0.491	25.400	1.000	0.345	1.133
m de agua		0.096	0.100	1.422	73.560	2.896	1.000	3.281
ft de agua		0.029	0.030	0.433	22.430	0.883	0.304	1.000

Energía									
de	a	CV hora	HP hora	kW hora	J	ft.lb	kgm	BTU	kcal
CV hora		1.000	0.986	0.736				2 510.000	632.500
HP hora		1.014	1.000	0.746				2 545.000	641.200
kW hora		1.360	1.341	1.000				3 413.000	860.000
J					1.000	0.738	0.102		
ft.lb					1.356	1.000	0.138		
kgm					9.806	7.233	1.000		
BTU					1 054.900	778.100	107.580	1.000	0.252
kcal					4 186.000	3 087.000	426.900	426.900	1.000

Transmisividad				
de	a	cm ² /s	gal/día/pie	m ² /día
cm ² /s		1.000	695.694	8.640
gal/día/ft		0.001	1.000	0.012
m ² /día		0.116	80.520	1.000

Conversión de pies y pulgadas, a metros												
ft, in/m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0.000	0.025	0.051	0.076	0.102	0.127	0.152	0.178	0.203	0.229	0.254	0.279
1	0.305	0.330	0.356	0.381	0.406	0.432	0.457	0.483	0.508	0.533	0.559	0.584
2	0.610	0.635	0.660	0.686	0.711	0.737	0.762	0.787	0.813	0.838	0.864	0.889
3	0.914	0.940	0.965	0.991	1.016	1.041	1.067	1.092	1.176	1.143	1.168	1.194
4	1.219	1.245	1.270	1.295	1.321	1.346	1.372	1.397	1.422	1.448	1.473	1.499
5	1.524	1.549	1.575	1.600	1.626	1.651	1.676	1.702	1.727	1.753	1.778	1.803
6	1.829	1.854	1.880	1.905	1.930	1.956	1.981	2.007	2.032	2.057	2.083	2.108
7	2.134	2.159	2.184	2.210	2.235	2.261	2.286	2.311	2.337	2.362	2.388	2.413
8	2.438	2.464	2.489	2.515	2.540	2.565	2.591	2.616	2.642	2.667	2.692	2.718
9	2.743	2.769	2.794	2.819	2.845	2.870	2.896	2.921	2.946	2.972	2.997	3.023
10	3.048	3.073	3.099	3.124	3.150	3.175	3.200	3.226	3.251	3.277	3.302	3.327
11	3.353	3.378	3.404	3.429	3.454	3.480	3.505	3.531	3.556	3.581	3.607	3.632
12	3.658	3.683	3.708	3.734	3.759	3.785	3.810	3.835	3.861	3.886	3.912	3.937
13	3.962	3.988	4.013	4.039	4.064	4.089	4.115	4.140	4.166	4.191	4.216	4.242
14	4.267	4.293	4.318	4.343	4.369	4.394	4.420	4.445	4.470	4.496	4.521	4.547
15	4.572	4.597	4.623	4.648	4.674	4.699	4.724	4.750	4.775	4.801	4.826	4.851
16	4.877	4.902	4.928	4.953	4.978	5.004	5.029	5.055	5.080	5.105	5.131	5.156
17	5.182	5.207	5.232	5.258	5.283	5.309	5.334	5.359	5.385	5.410	5.436	5.461
18	5.486	5.512	5.537	5.563	5.588	5.613	5.639	5.664	5.690	5.715	5.740	5.766
19	5.791	5.817	5.842	5.867	5.893	5.918	5.944	5.969	5.994	6.020	6.045	6.071
20	6.096	6.121	6.147	6.172	6.198	6.223	6.248	6.274	6.299	6.325	6.350	6.375
21	6.401	6.426	6.452	6.477	6.502	6.528	6.553	6.579	6.604	6.629	6.655	6.680
22	6.706	6.731	6.756	6.782	6.807	6.833	6.858	6.883	6.909	6.934	6.960	6.985
23	7.010	7.036	7.061	7.087	7.112	7.137	7.163	7.188	7.214	7.239	7.264	7.290
24	7.315	7.341	7.366	7.391	7.417	7.442	7.468	7.493	7.518	7.544	7.569	7.595
25	7.620	7.645	7.671	7.696	7.722	7.747	7.772	7.798	7.823	7.849	7.874	7.899
26	7.925	7.950	7.976	8.001	8.026	8.052	8.077	8.103	8.128	8.153	8.179	8.204
27	8.230	8.255	8.280	8.306	8.331	8.357	8.382	8.407	8.433	8.458	8.484	8.509
28	8.534	8.560	8.585	8.611	8.636	8.661	8.687	8.712	8.738	8.763	8.788	8.814
29	8.839	8.865	8.890	8.915	8.941	8.966	8.992	9.017	9.042	9.068	9.093	9.119
30	9.144	9.169	9.195	9.220	9.246	9.271	9.296	9.322	9.347	9.373	9.398	9.423
31	9.449	9.474	9.500	9.525	9.550	9.576	9.601	9.627	9.652	9.677	9.703	9.728
32	9.754	9.779	9.804	9.830	9.855	9.881	9.906	9.931	9.957	9.982	10.008	10.033
33	10.058	10.084	10.109	10.135	10.160	10.185	10.211	10.236	10.262	10.287	10.312	10.338
34	10.363	10.389	10.414	10.439	10.465	10.490	10.516	10.541	10.566	10.592	10.617	10.643
35	10.668	10.693	10.719	10.744	10.770	10.795	10.820	10.846	10.871	10.897	10.922	10.947

La segunda columna es la conversión de pies a metros; las siguientes columnas son la conversión de pulgadas a metros que se suman a la anterior conversión.

Tabla de conversión de pulgadas a milímetros								
Pulgadas	0	1/8	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8
0	0	3.175	6.35	9.525	12.7	15.875	19.05	22.225
1	25.4	28.575	31.75	34.925	38.1	41.275	44.45	47.625
2	50.8	53.975	57.15	60.325	63.5	66.675	69.85	73.025
3	76.2	79.375	82.55	85.725	88.9	92.075	95.25	98.425
4	101.6	104.775	107.95	111.125	114.3	117.475	120.65	123.825
5	127.0	130.175	133.35	136.525	139.7	142.875	146.05	149.225
6	152.4	155.575	158.75	161.925	165.1	168.275	171.45	174.625
7	177.8	180.975	184.15	187.325	190.5	193.675	196.85	200.025
8	203.2	206.375	209.55	212.725	215.9	219.075	222.25	225.425
9	228.6	231.775	234.95	238.125	241.3	244.475	247.65	250.825
10	254.0	257.175	260.35	263.525	266.7	269.875	273.05	276.225
11	279.4	282.575	285.75	288.925	292.1	295.275	298.45	301.625
12	304.8	307.975	311.15	314.325	317.5	320.675	323.85	327.025
13	330.2	333.375	336.55	339.725	342.9	346.075	349.25	352.425
14	355.6	358.775	361.95	365.125	368.3	371.475	374.65	377.825
15	381.0	384.175	387.35	390.525	393.7	396.875	400.05	403.225
16	406.4	409.575	412.75	415.925	419.1	422.275	425.45	428.625
17	431.8	434.975	438.15	441.325	444.5	447.675	450.85	454.025
18	457.2	460.375	463.55	466.725	469.9	473.075	476.25	479.425
19	482.6	485.775	488.95	492.125	495.3	498.475	501.65	504.825
20	508.0	511.175	514.35	517.525	520.7	523.875	527.05	530.225
21	533.4	536.575	539.75	542.925	546.1	549.275	552.45	555.625
22	558.8	561.975	565.15	568.325	571.5	574.675	577.85	581.025
23	584.2	587.375	590.55	593.725	596.9	600.075	603.25	606.425
24	609.6	612.775	615.95	619.125	622.3	625.475	628.65	631.825
25	635.0	638.175	641.35	644.525	647.7	650.875	654.05	657.225
26	660.4	663.575	666.75	669.925	673.1	676.275	679.45	682.625
27	685.8	688.975	692.15	695.325	698.5	701.675	704.85	708.025
28	711.2	714.375	717.55	720.725	723.9	727.075	730.25	733.425
29	736.6	739.775	742.95	746.125	749.3	752.475	755.65	758.825
30	762.0	765.175	768.35	771.525	774.7	777.875	781.05	784.225

Fórmulas generales para la conversión de los diferentes sistemas

Centígrados a Fahrenheit	$^{\circ}\text{F} = 9/5^{\circ}\text{C} + 32$
Fahrenheit a Centígrados	$^{\circ}\text{C} = 5/9 (^{\circ}\text{F} - 32)$
Réaumur a Centígrados	$^{\circ}\text{C} = 5/4 ^{\circ}\text{R}$
Fahrenheit a Réaumur	$^{\circ}\text{R} = 4/9 (^{\circ}\text{F} - 32)$
Réaumur a Fahrenheit	$^{\circ}\text{F} = (9/4^{\circ}\text{R}) + 32$
Celsius a Kelvin	$^{\circ}\text{K} = 273.15 + ^{\circ}\text{C}$
Fahrenheit a Rankine	$^{\circ}\text{Ra} = 459.67 + ^{\circ}\text{F}$
Rankine a Kelvin	$^{\circ}\text{K} = 5/9^{\circ}\text{Ra}$

Factores químicos de conversión					
	A	B	C	D	E
Constituyentes	eppm a ppm	ppm a epm	eppm a gpg	gpg a epm	ppm a ppm CaCO ₃
calcio Ca ⁺²	20.04	0.04991	1.1719	0.8533	2.4970
hierro Fe ⁺²	27.92	0.03582	1.6327	0.6125	1.7923
magnesio Mg ⁺²	12.16	0.08224	0.7111	1.4063	4.1151
potasio K ⁺¹	39.10	0.02558	2.2865	0.4373	1.2798
sodio Na ⁺¹	23.00	0.04348	1.3450	0.7435	2.1756
bicarbonato (HCO ₃) ⁻¹	61.01	0.01639	3.5678	0.2803	0.8202
carbonato (CO ₃) ⁻²	30.00	0.03333	1.7544	0.5700	1.6680
cloro (Cl) ⁻¹	35.46	0.02820	2.0737	0.4822	1.4112
hidróxido (OH) ⁻¹	17.07	0.05879	0.9947	1.0053	2.9263
nitrito (NO ₂) ⁻¹	62.01	0.01613	3.6263	0.2758	0.8070
fosfato (PO ₄) ⁻³	31.67	0.03158	1.8520	0.5400	1.5800
sulfato (SO ₄) ⁻²	48.04	0.02082	2.8094	0.3559	1.0416
bicarbonato de calcio Ca(HCO ₃) ₂	805.00	0.01234	4.7398	0.2120	0.6174
carbonato de calcio (CaCO ₃)	50.04	0.01998	2.9263	0.3417	1.0000
cloruro de calcio (CaCl ₂)	55.50	0.01802	3.2456	0.3081	0.9016
hidróxido de calcio Ca(OH) ₂	37.05	0.02699	2.1667	0.4615	1.3506
sulfato de calcio (CaSO ₄)	68.07	0.01469	3.9807	0.2512	0.7351
bicarbonato férrico Fe(HCO ₃) ₃	88.93	0.01124	5.2006	0.1923	0.5627
carbonato férrico Fe ₂ (CO ₃) ₃	57.92	0.01727	3.3871	0.2951	0.8640
sulfato férrico Fe ₂ (CO ₄) ₃	75.96	0.01316	4.4421	0.2251	0.6588
bicarbonato magnésico Mg(HCO ₃) ₂	73.17	0.01367	4.2789	0.2337	0.6839
carbonato magnésico (MgCO ₃)	42.16	1.02372	2.4655	0.4056	1.1869
cloruro de magnesio (MgCl ₂)	47.62	0.02100	2.7848	0.3591	1.0508
hidróxido de magnesio Mg(OH) ₂	29.17	0.03428	1.7058	0.5862	1.7155
sulfato de magnesio (MgSO ₄)	60.20	0.01661	3.5202	0.2841	0.6312

eppm = equivalentes por millón

ppm = partes por millón

gpg = granos por galón

p.p.m. CaCO₃ = partes por millón de carbonato de calcio



ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1 Componentes de una letrina	2
Ilustración 1.2 Letrina tradicional simple	4
Ilustración 1.3 Componentes de una letrina tradicional simple	5
Ilustración 1.4 Letrina mejorada con fosa ventilada	6
Ilustración 1.5 Componentes de una letrina mejorada de fosa ventilada	7
Ilustración 1.6 Letrina de arrastre hidráulico	8
Ilustración 1.7 Esquema de una letrina con arrastre hidráulico	9
Ilustración 1.8 Esquema de una letrina con fosa elevada	9
Ilustración 1.9 Ejemplo de letrinas prefabricadas	10
Ilustración 1.10 Ejemplo de taza separadora de orina y heces	11
Ilustración 1.11 Esquema de doble cámara en la letrina seca ventilada de dos cámaras	11
Ilustración 1.12 Ejemplo de letrina seca ventilada de dos cámaras	12
Ilustración 1.13 Cámaras o fosas de block	12
Ilustración 1.14 Esquema de una letrina seca ventilada de dos cámaras (vista frontal)	14
Ilustración 1.15 Esquema de una letrina seca ventilada de dos cámaras (vista lateral)	14
Ilustración 1.16 Ejemplo de letrina multrum	15
Ilustración 1.17 Esquema de una letrina multrum	16
Ilustración 1.18 Localización adecuada de una letrina dentro de un predio	18
Ilustración 1.19 Localización adecuada de una letrina dentro de una comunidad	19
Ilustración 2.1 Tanque séptico convencional, construido en sitio	28
Ilustración 2.2 Ejemplo de tanques sépticos prefabricados de metal y plástico	30
Ilustración 2.3 Elementos de un sistema séptico	30
Ilustración 2.4 Tanque séptico de un solo compartimento	31



TABLAS

Tabla 1.1 Distancia de la fosa de las estructuras existentes, de acuerdo a su profundidad y tipo de suelo	17
Tabla 1.2 Sistema sanitario según la dispersión de la localidad	21
Tabla 1.3 Problemas comunes en el uso de letrinas	21
Tabla 1.4 Volumen requerido y profundidad de fosas, para una vida útil de 5 años	23
Tabla 1.5 Volumen requerido y profundidad de fosas, para una vida útil de 10 años	23
Tabla 2.1 Promedio del consumo de agua potable estimado por clima predominante	34
Tabla 2.2 Profundidad en función de la población	35
Tabla 2.3 Datos para ejemplo	35
Tabla 2.4 Cálculo para tanques en función de la población	36
Tabla 2.5 Dimensiones de los tanques en función de la población	36
Tabla 2.6 Requerimientos para ubicar un tanque séptico	39

