

LINEAMIENTOS TÉCNICOS: SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A NIVEL VIVIENDA EN ZONA RURAL

PROGRAMAS DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO,
SANEAMIENTO, Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

*SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES A NIVEL VIVIENDA.*

Abril de 2016

Versión 1.0

“LINEAMIENTOS TÉCNICOS: SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A NIVEL VIVIENDA.”

CONTENIDO

1. Introducción	4
2. Objetivo.....	4
3. Campo de aplicación	5
4. Definiciones	5
5. Procesos anaerobios.	6
5.1. Descripción del proceso.....	6
5.1.1. Caracterización típica de un agua residual doméstica.....	8
5.2. Descripción general de los tipos de reactores que utilizan el proceso anaerobio.	9
5.2.1. Tanques sépticos.....	9
5.2.2. Tanques Imhoff.....	11
5.2.3. Biodigestores.....	12
5.2.3.1. Flujo estacionario.....	13
5.2.3.2. Flujo semicontinuo.....	14
5.2.3.3. Flujo continuo	14
5.2.3.4. Modelos particulares de Biodigestores Anaerobios	14
5.2.4. Reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA)	17
6. Metodología de cálculo.....	18
6.1. Especificaciones generales.....	19
6.2. Separador de grasas para aguas grises.....	19
6.3. Tratamiento anaerobio mediante Tanque Séptico.....	21
6.4. Tratamiento anaerobio mediante un RAFA	25
7. Especificaciones	30
7.1. Sobre los espacios disponibles.	30
7.2. Requerimientos de los elementos aceptables y sus componentes.	30

7.2.1. Materiales para la tubería del influente y el efluente.	31
7.2.2. Materiales de los elementos del reactor de tratamiento.	31
7.3. Ubicación del sistema al interior del predio o la vivienda.	32
8. Operación y mantenimiento	34
8.1. Operación.	34
8.2. Drenado de lodos	35
8.3. Limpieza de trampa de grasas.	36
8.4. De la capacitación a los usuarios beneficiados.	36
8.5. Acciones posteriores a la instalación y verificación del sistema.	37
9. Bibliografía	39

1. Introducción

De acuerdo a información de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la cobertura de alcantarillado y saneamiento en las zonas rurales muestra un déficit respecto a la cobertura alcanzada en zonas urbanas, con la finalidad de lograr una mayor cobertura en zonas rurales, la CONAGUA ha implementado una serie de acciones que permiten realizar un tratamiento de las aguas residuales mediante sistemas de tratamiento que aplican un reactor anaerobio.

La CONAGUA, como autoridad responsable de la administración en materia de aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes, ve la necesidad de establecer lineamientos técnicos para sistemas de tratamiento de las aguas residuales a nivel vivienda.

Es necesario que los componentes del sistema tengan unas características mínimas, de tal manera de que cumplan con el objetivo para el que son diseñados.

2. Objetivo

Estos lineamientos establecen la metodología de cálculo, especificaciones y características generales que debe cumplir un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas a nivel vivienda.

Estos lineamientos deberán ser aplicados a sistemas que vayan a ser instalados, o también para realizar cambios, modificaciones, mantenimiento o reparaciones a sistemas previamente instalados.

3. Campo de aplicación

Estos lineamientos son de referencia técnica para los responsables de la instalación, adecuación y/o modificación de los elementos que integran un sistema de tratamiento de las aguas residuales a nivel vivienda, así como del proyecto, instalación y capacitación a los usuarios para la aplicación de dichos elementos.

4. Definiciones

Para los efectos del presente lineamiento se establecen las definiciones siguientes:

- 4.1. **Proceso Anaerobio:** Proceso que permite la simplificación de materia orgánica por bacterias en ausencia de oxígeno
- 4.2. **Tipos de procesos anaerobios:** Pueden ser tanques sépticos, biodigestores, lagunas anaerobias, filtros anaerobios, reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA), tanques imhoff, entre otros.
- 4.3. **Biodigestor:** Tanque cerrado, hermético e impermeable, dentro del cual se deposita el material orgánico a tratar.
- 4.4. **Concentración:** Cantidad de contaminantes presentes en el agua residual a tratar.
- 4.5. **Concentración típica del agua residual doméstica:** Serán las concentraciones de referencia para el diseño y dimensionamiento del sistema de tratamiento.
- 4.6. **Demanda química de oxígeno (DQO):** Cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas o degradadas, y que se encuentran disueltas en un medio líquido.

- 4.7. **Efluente:** Flujo de salida del agua residual tratada.
 - 4.8. **Fosa séptica (o Tanque Séptico):** Tipo de dispositivo que realiza la separación y transformación físico-química de la materia orgánica contenida en las aguas a tratar.
 - 4.9. **Hidrólisis:** Proceso de descomposición de sustancias orgánicas por acción del agua.
 - 4.10. **Influente:** Flujo de entrada del agua residual al tratamiento.
 - 4.11. **Remoción de lodos:** Procedimiento empleado para descargar el biodigestor de los sólidos asentados en el proceso.
 - 4.12. **Sistema de tratamiento:** Conjunto de elementos que permiten realizar el tratamiento de las aguas residuales producidas.
 - 4.13. **Trampa de grasas:** Dispositivo que permite separar los aceites y las grasas provenientes de las aguas grises que descarga una vivienda.
 - 4.14. **Tiempo de retención hidráulica:** Tiempo que el agua a tratar permanece en el sistema de tratamiento.
5. **Procesos anaerobios.**

5.1. **Descripción del proceso**

Dentro del sistema de tratamiento, se realizará mediante un proceso anaerobio, el cual se lleva a cabo en ausencia de aire, oxígeno y nitratos, degradando los compuestos complejos como proteínas, carbohidratos o grasas, hasta generar biogás, lodos y un efluente tratado. En esta degradación intervienen un amplio grupo de microorganismos, principalmente bacterias.

Los procesos involucrados son hidrólisis que transforman las partículas suspendidas y moléculas disueltas de gran tamaño a pequeñas moléculas

disueltas, las cuales por medio de fermentación (bacterias acidogénicas) son transformadas a ácido acético más hidrogeno; estos compuestos por medio de la metanogénesis (bacterias metanogénicas) son transformados a metano más anhídrido carbónico. Un punto a favor de este tipo de proceso es que la producción de lodos, en los procesos anaerobios, es mínima comparada con un proceso aerobio, por lo que no se requiere de una purga constante. La remoción de lodos se deberá realizar cuando estos ocupen un volumen mayor a un tercio de la capacidad del reactor.

En la ilustración siguiente se muestra un balance de DQO durante el proceso de degradación anaerobia.

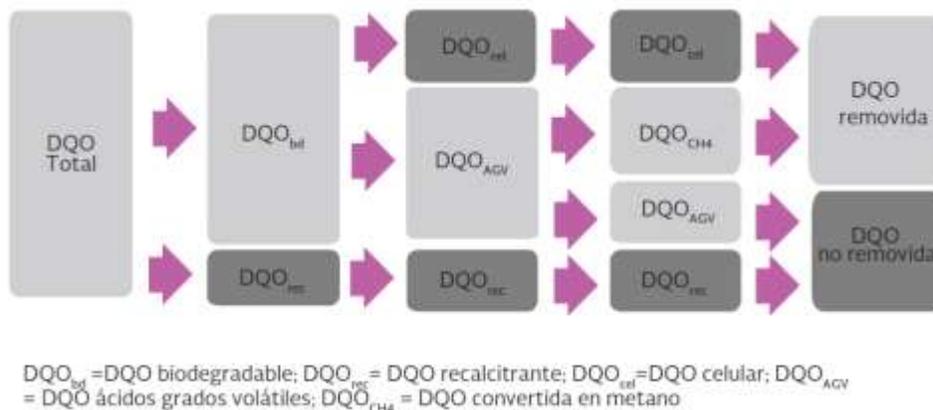


Ilustración 1. Balance de DQO durante degradación anaerobia (Chernicharo de Lemús,2007)

Los parámetros que contiene el agua residual pueden modificar las eficiencias del proceso anaerobio, así también se podría ver modificado por la presencia de compuestos tóxicos (en el caso de industrias), concentración de materia orgánica, variación de la temperatura, y variación del pH.

Cabe destacar que el proceso ocurre en un rango aceptable entre los 15 y 25 °C y en un rango alto de eficiencia cuando las temperaturas del medio oscilan entre los 30 y 40°C, con lo que se puede decir que en sitios con clima tropical presentan una temperatura ambiente ideal para la aplicación de estos sistemas, sin embargo el proceso es funcional bajo cualquier clima de los presentes en nuestro país.

Los sistemas de tratamiento anaerobios son capaces de remover la materia orgánica presente en un agua residual doméstica, sin embargo es necesario que el proceso de diseño, instalación y operación del sistema sea el adecuado con la finalidad de optimizar la eficiencia de éste en el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

5.1.1. Caracterización típica de un agua residual doméstica.

Para la caracterización del agua residual doméstica que nos permita realizar un diseño específico para una vivienda, se requeriría realizar una prueba de calidad del agua en base a la descarga o reúso que se le daría en un dado caso al agua tratada, para fines prácticos se puede partir de una caracterización tipo como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 1. Concentraciones típicas del agua residual doméstica. (Romero, 2001)

PARÁMETRO	UNIDAD	RANGO		
		MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO
DBO ₅	mg/l	110	400	210
DQO	mg/l	250	1000	500
SST	mg/l	100	350	210
NTK	mg/l	20	85	35

Fósforo Total	mg/l	4	15	7
Grasas y aceites	mg/l	50	150	90
Coliformes totales	NMP/100 ml	10 ⁶	10 ⁹	10 ⁷
Coliformes fecales	NMP/100 ml	10 ³	10 ⁷	10 ⁶

5.2. Descripción general de los tipos de reactores que utilizan el proceso anaerobio.

En general, los procesos anaerobios se han utilizado para la remoción de materia orgánica, con eficiencias de entre 40 al 90 por ciento de la DQO, la eficiencia dependerá del tipo de reactor y del agua residual a tratar, dicha eficiencia impactará en el tiempo de retención hidráulica del agua a tratar, lo que implicará un menor o mayor volumen del sistema de tratamiento.

Dentro de los procesos que caen en esta clasificación se tienen los siguientes, de los cuales la selección del mismo dependerá de los espacios disponibles en la vivienda para su instalación y del arreglo general de los espacios de la misma.

5.2.1. Tanques sépticos

Los tanques sépticos han sido utilizados en viviendas individuales o en pequeños grupos de viviendas de entre 10 a 100 habitantes, en zonas donde no existe drenaje o tubería para desalojo de aguas negras.

Estos tanques se constituyen por un tanque de forma rectangular o circular, construido comúnmente con ladrillos, mortero y cemento. El interior está aplanado, cuenta en general con una profundidad de entre 1 y 2 metros, en ocasiones de acuerdo a las necesidades, se instala una trampa para grasas y pueden presentar uno o más compartimentos.

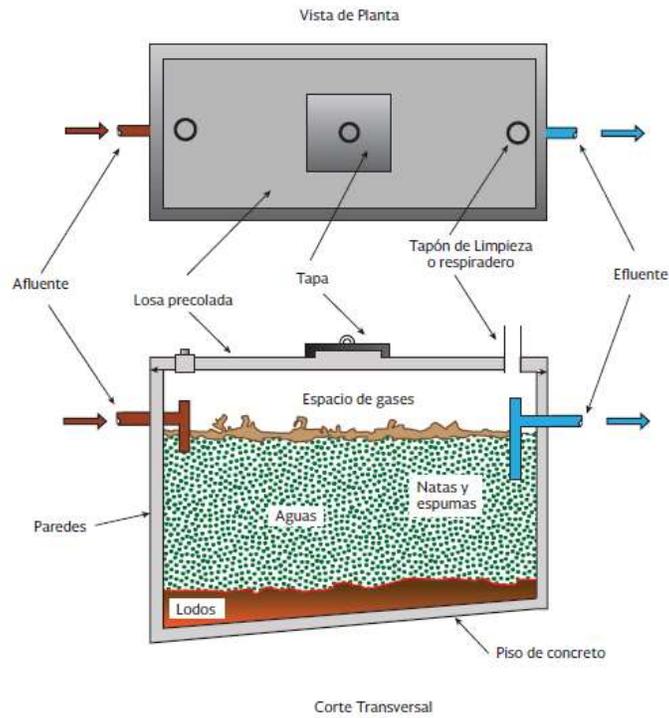


Ilustración 2. Fosa o tanque séptico de un compartimento (Escalante *et al* 2000)

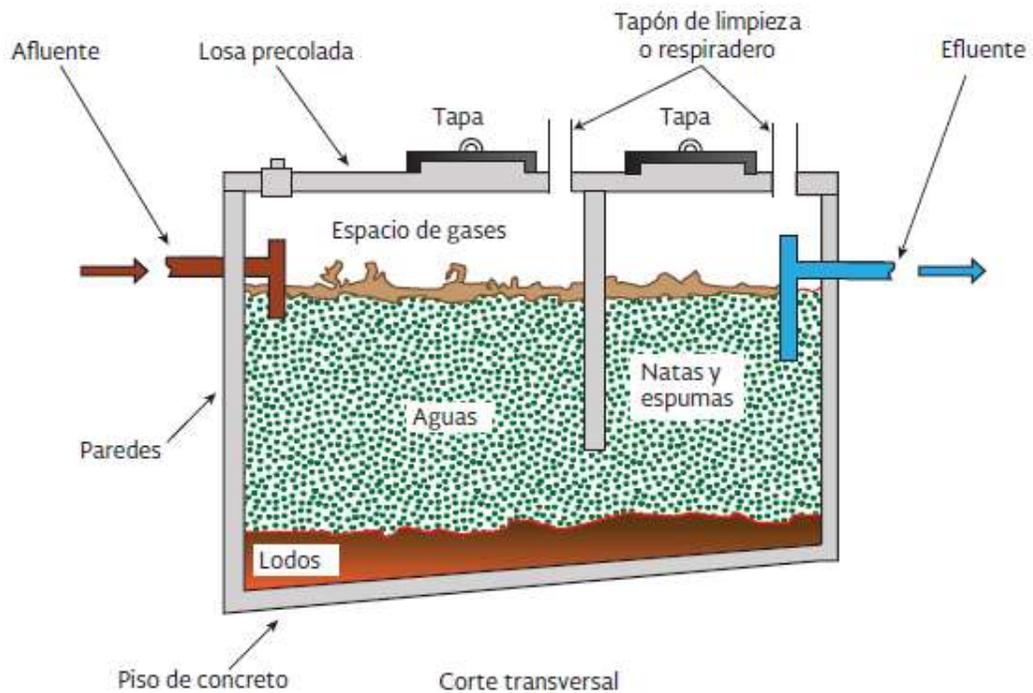


Ilustración 3. Fosa o tanque séptico de dos compartimentos (Escalante *et al* 2000)

5.2.2. Tanques Imhoff

El tanque Imhoff es un proceso anaerobio en el que se realiza la sedimentación de sólidos. Este proceso puede aplicarse para tratar aguas residuales de hasta 5mil habitantes y en su interior se presentan por separado la sedimentación y la digestión de lodos, en compartimentos diferentes. Los tanques se construyen con concreto armado, son de forma cuadrada o rectangular.

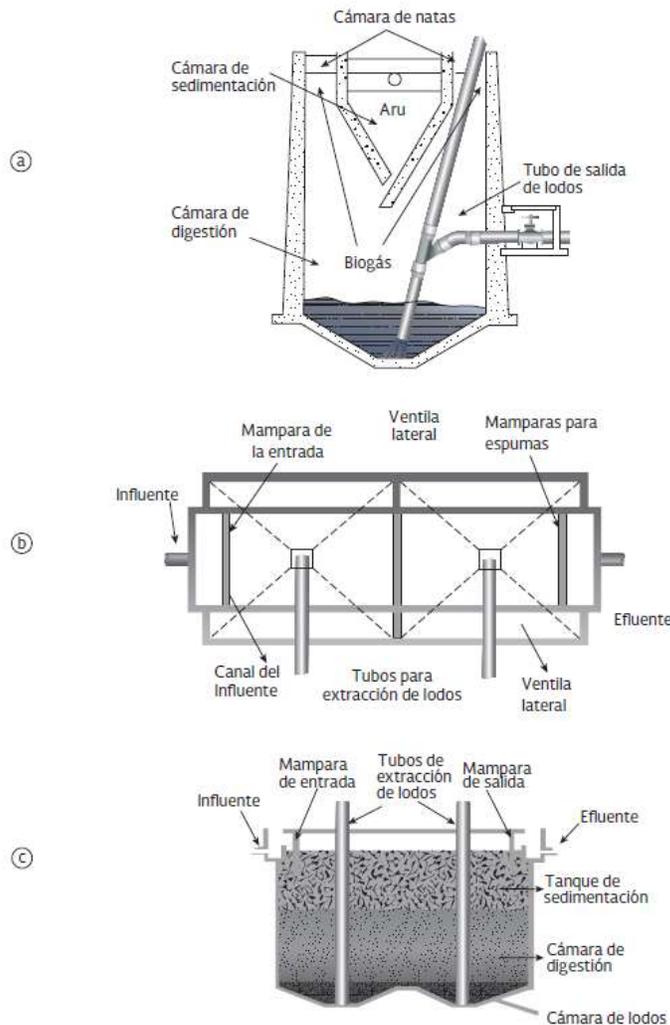


Ilustración 4. Tanque Imhoff con una cámara de sedimentación (Escalante *et al* 2000)

En cuanto a su geometría la relación largo-ancho oscila entre 3:1 a 5:1 y su profundidad varía entre los 1.5 y 4 metros, aunque pueden llegar a excavar hasta los 7 metros de profundidad.

Están constituidos de cuatro zonas: entrada, compartimento de sedimentación, cámara de digestión y salida. El agua residual después del tubo de entrada es forzada a fluir hacia abajo, es decir hasta la zona de sedimentación mediante un deflector o mampara. En el compartimento de sedimentación, el agua residual permanece de entre dos a cuatro horas, mientras que los sólidos del agua residual caen hacia el fondo por escurrimiento a través de una abertura longitudinal hacia la cámara de digestión, donde los lodos formados se descomponen o difieren en un período de dos a tres meses.

5.2.3. Biodigestores.

Los Biodigestores anaerobios, se constituyen por un tubo de entrada de materia orgánica, cámara de fermentación o cuerpo del digestor, cámara de depósito de gas, cámara de salida de materia estabilizada o fermentada y en los casos que se aproveche el biogás, cuenta con conducto para gas y gasómetro.

En este caso no se considerará el aprovechamiento del biogás en los sistemas de tratamiento planteados.

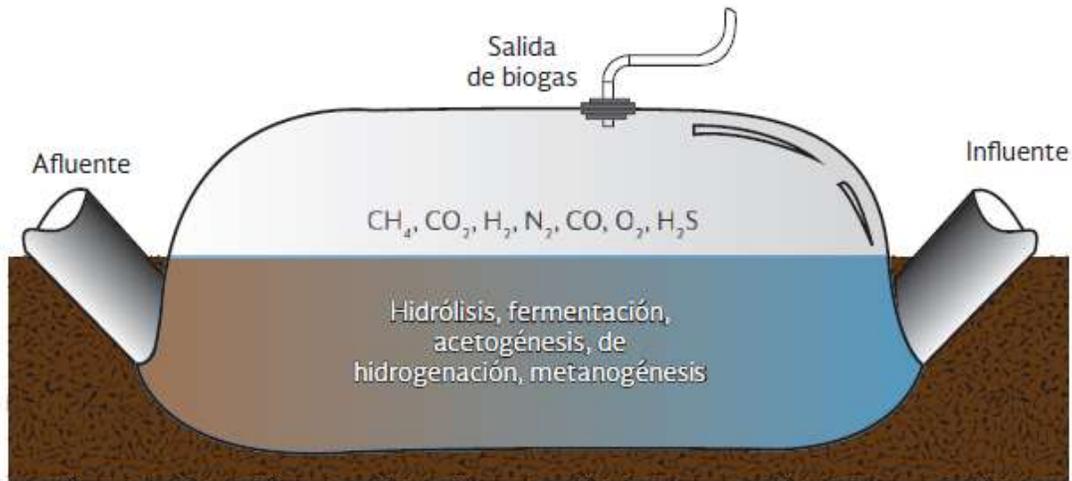


Ilustración 5. Esquema general de un biodigestor (CONAGUA 2015)

Los materiales de construcción pueden ser de ladrillo, mampostería, hormigón, concreto armado o plásticos. Pueden instalarse de manera superficial, semienterrados o subterráneos. De acuerdo a su operación se clasifican en flujo estacionario, semicontinuo y continuo.

5.2.3.1. Flujo estacionario

En los biodigestores con este tipo de flujo, también llamados de flujo discontinuo en lote o Batch, la carga del desecho o agua residual a tratar se agrega al inicio el proceso lo que permite llevar a cabo la degradación anaerobio en el tiempo requerido. El efluente tratado se descarga al final del proceso.

Al inicio del proceso se agrega la carga de la totalidad del material a tratar, y la descarga del efluente se retira al finalizar el mismo. Por lo general requieren de mayor mano de obra, de un espacio para almacenar la materia prima si es que ésta se produce continuamente.

5.2.3.2. Flujo semicontinuo

La carga del material a tratar y la descarga del efluente se llevan a cabo por intervalos, por ejemplo una vez al día o cada 12 horas; dicho proceso se extiende indefinidamente a través del tiempo. Por lo general, requieren de menos mano de obra que el de flujo estacionario, pero de una mezcla más fluida o movilizada de manera mecánica y de un depósito de biogás.

5.2.3.3. Flujo continuo

Estos biodigestores pueden ser de desplazamiento horizontal (movimiento por flujo pistón o gravedad) y de tanques múltiples o verticales.

Los biodigestores anaerobios rurales (dentro de los cuales se considera incluido un tipo de estos a las fosas sépticas) pueden clasificarse de acuerdo a su forma y estructura, agrupándose en diseños según el almacenamiento del gas, que pueden ser de cúpula móvil, fija, depósito flotante o de presión constante, con gasómetro de caucho o material plástico en forma de bolsa, así también pueden ser agrupados de acuerdo a su forma geométrica, pueden ser de cámara vertical cilíndrica, esférica, ovalada, rectangular o cuadrada.

5.2.3.4. Modelos particulares de Biodigestores Anaerobios

Existen diferentes modelos de biodigestores denominados “El Chino”, “El Indio”, “El Xochicalli”, “El Olalde de Guatemala”, entre otros, los materiales con que son construidos varían desde mampostería, prefabricados, hasta metálicos de diferentes aleaciones.

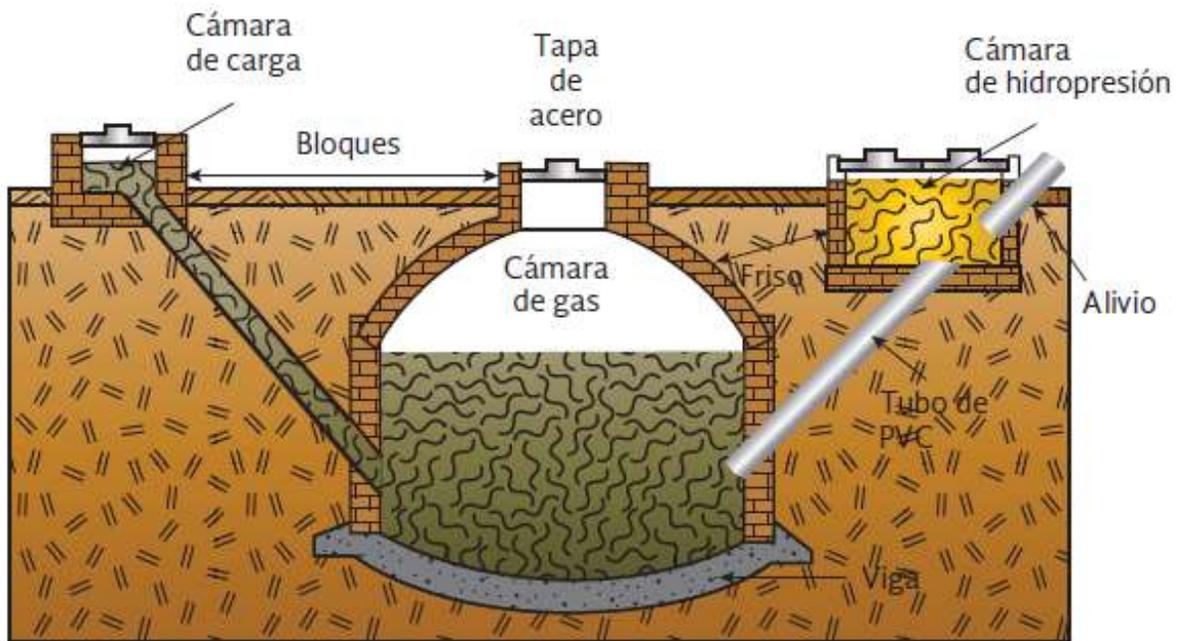


Ilustración 6. Modelo Chino de biodigestor anaerobio (Guevara 1996)

El modelo Chino consiste en un digestor de cúpula en forma cilíndrica, enterrado con cámaras de hidropresión, la estructura puede ser de hormigón, de ladrillos, bloques o adobes, se le puede adicionar un gasómetro. Este digestor por estar enterrado favorece el proceso, y tiene poca influencia por los cambios de temperatura. Aunque una desventaja es que la presión del gas varía dependiente del volumen acumulado.

El modelo Indio se ha difundido mucho porque mantiene una presión de trabajo constante. Generalmente son verticales, con el gasómetro de acero integrado, el cual posee una camisa que se desliza en un eje y lo mantiene centrado para que no roce ni escurra con las paredes, mientras que su eje descansa en una viga transversal de concreto enjaulado. Estos digestores son alimentados de forma continua. La estructura se construye de bloques de concreto y se construyen

generalmente enterrados para que la cúpula sin gas quede en un nivel cercano a la superficie del terreno.

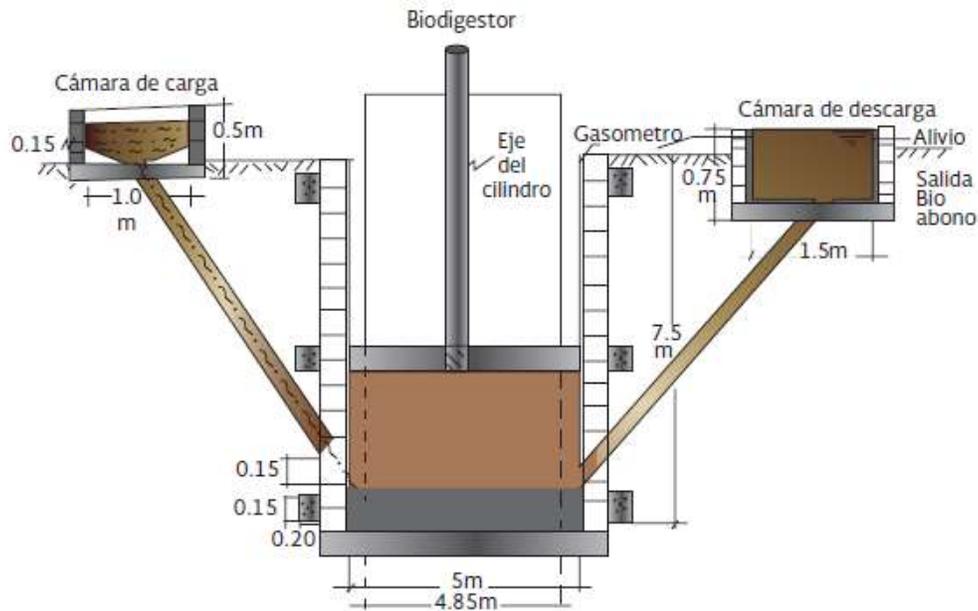


Ilustración 7. Modelo Indio de biodigestor anaeróbico (Guevara 1996)

Se consideran los modelos horizontales cuando estos no son muy profundos en el suelo, de forma rectangular; aunque se pueden construir cuadrados, se forman de concreto armado debido a las presiones a las que están sometidos. Su uso es generalmente para el saneamiento de descargas residuales, ya que su conformación alargada garantiza la salida del efluente del cuerpo del digestor. Debido al flujo pistón y al tiempo de retención, se favorece la degradación. Estos digestores llevan generalmente en la parte superior una pequeña cúpula metálica desmontable, que sirve de boca de visita. La presión se controla por el sello de agua, además requieren de un gasómetro adicional debido a la poca capacidad de almacenamiento de la cúpula y el cuerpo del digestor.

La aplicación de los biodigestores ha sido para el saneamiento ambiental, la producción y aprovechamiento del biogás, para la producción de abono líquido o sólido, sin embargo en este caso de aplicación a nivel vivienda no se considerará dicha actividad de aprovechamiento.

Para fines de saneamiento ambiental es la reducción de parámetros fisicoquímicos y biológicos de las aguas residuales domésticas, después de un tiempo de retención que permita obtener al final un efluente con una menor concentración de estos parámetros. En este caso los digestores de tipo horizontal se consideran los más adecuados.

Se requiere realizar una revisión detallada de los nuevos biodigestores para verificar que no tengan fugas ni filtraciones antes de ponerse en marcha, dicha revisión deberá ser realizada por el responsable de la instalación. Cuando el biodigestor ya está operando, se debe programar el mantenimiento, y verificar su impermeabilidad y sellado por parte del usuario.

5.2.4. Reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA)

En el Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) el agua residual a tratar es conducida desde la parte superior del reactor (tanque) hacia el fondo del mismo por medio de tubos. El afluente fluye en sentido ascendente a través de un manto de lodos (Microorganismos anaerobios), con lo que se lleva a cabo el tratamiento.

En este sistema, el biogás producido en condiciones anaerobias (principalmente metano y dióxido de carbono) genera una circulación interior (mezclado). El biogás, el lodo y el líquido tratado ascienden a la parte superior del reactor, en

donde entran en contacto con deflectores que permiten la separación del biogás y la sedimentación del lodo. El biogás es capturado en la campana de recolección que se encuentra en la parte superior del reactor y el líquido tratado (efluente) sale por la parte superior.

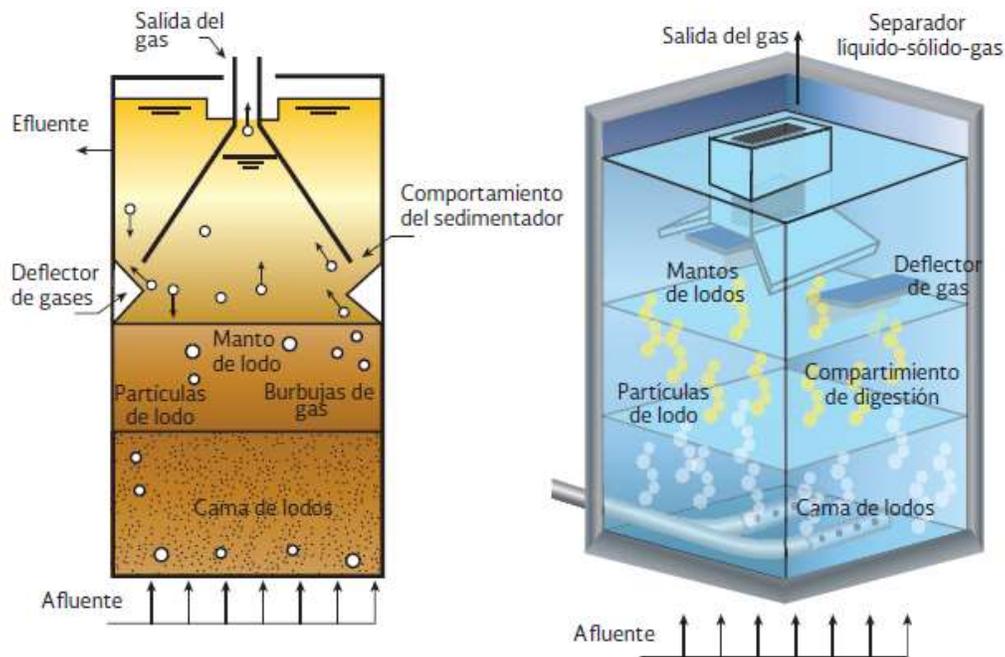


Diagrama del balance de DQO del proceso de degradación anaerobia

Ilustración 8. Esquema general de un RAFA (Von Sperling Marcos 2007)

6. Metodología de cálculo

En esta parte se mostrará la metodología a seguir para el dimensionamiento y diseño de un Tanque Séptico así como de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA), siendo éstos los de común aplicación en zonas rurales y dirigidos al tratamiento de aguas residuales a nivel vivienda.

6.1. Especificaciones generales.

Dentro del esquema de tratamiento de aguas residuales a nivel vivienda, se puede optimizar el funcionamiento de los tratamientos mediante la descarga separada de aguas negras y grises que se destinan al tanque séptico, biodigestor, RAFA o cualesquiera elemento de tratamiento que se defina instalar. Esto es posible hacerlo mediante la instalación de dos registros separados, uno que reciba las aguas negras exclusivamente para ser enviadas al tratamiento, y por otro lado un registro que reciba las aguas de lavamanos, tarja de cocina y regadera, que opere mediante una trampa de grasas, para que después de la separación se dirija el agua hacia el pozo de infiltración posterior al biodigestor o tratamiento realizado, en este punto se conjuntarán las aguas negras ya tratadas y el agua proveniente del separador de grasas.

En el medio rural, es común que no cuenten con sistema de descarga de aguas grises debido a que se realiza un reúso de las mismas para el riego de plantas o áreas verdes, en este caso dentro del estudio preliminar de la vivienda, se deberá asentar si existe dicha práctica o no en la misma, actividad que se deberá respetar al usuario, pues la calidad de las aguas grises es adecuada para el riego de plantas y áreas verdes.

6.2. Separador de grasas para aguas grises

Hay diversos esquemas para el funcionamiento de un separador de aguas grises, lo esencial es lograr evitar el ingreso de ese elemento al sistema de tratamiento.

Enseguida se muestran varios esquemas.

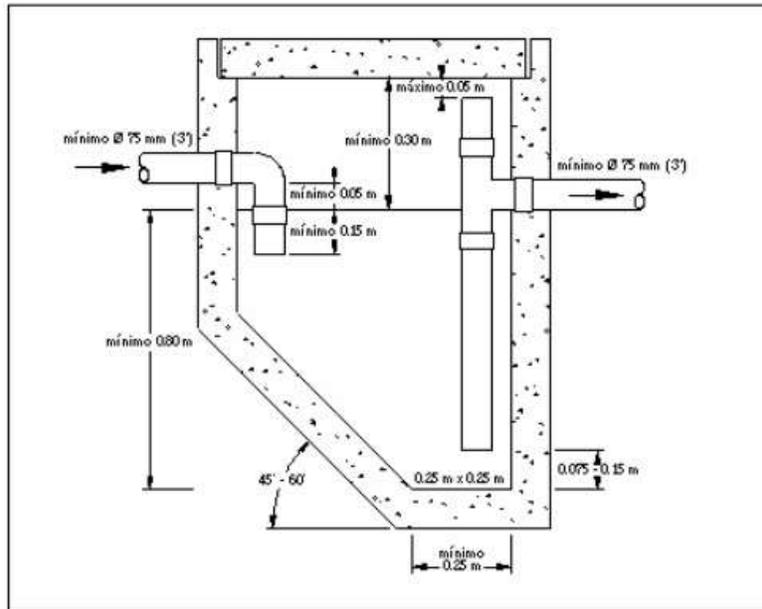


Ilustración 9. Esquema de una trampa de grasas simple (UNATSABAR 2003)

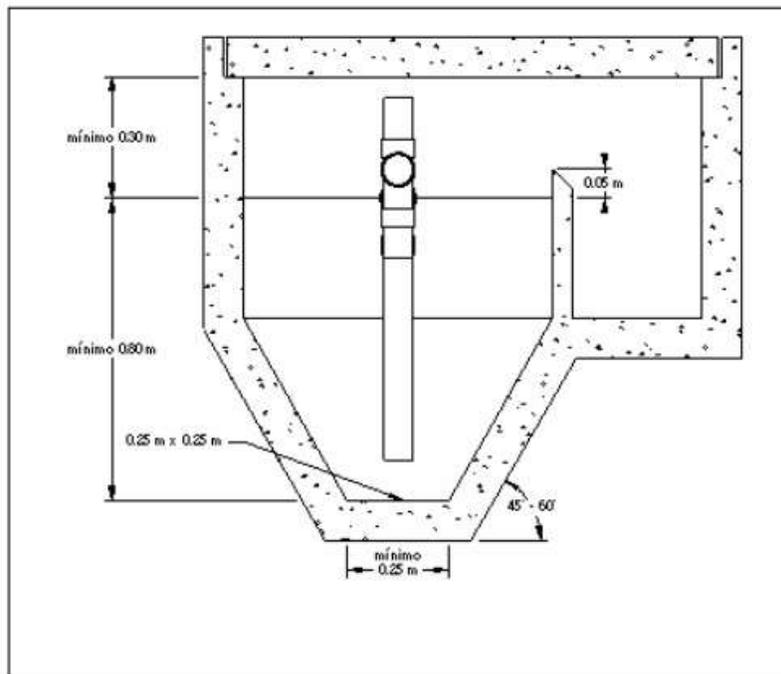


Ilustración 10. Esquema de una trampa de grasas con depósito (UNATSABAR 2003)

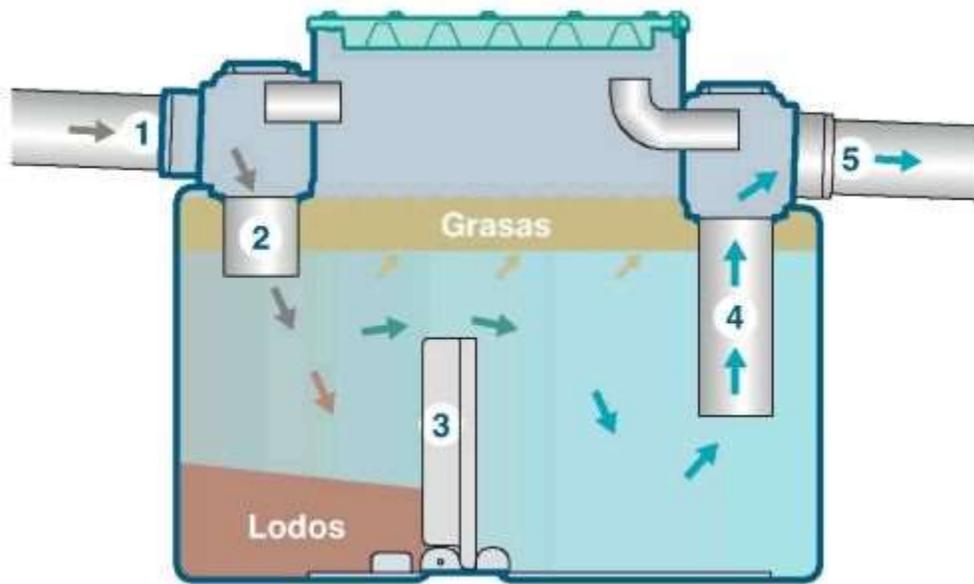


Ilustración 11. Esquema general de una trampa de grasas.

6.3. Tratamiento anaerobio mediante Tanque Séptico

Para el diseño de un tanque séptico se tomarán en cuenta las siguientes consideraciones para cada vivienda:

- Número de habitantes
- Dotación = 50 l/hab/día
- Coeficiente de retorno = 0.7
- Aportación de agua servida = $(50 \times 0.7) = 35$ l/hab/día

Estas consideraciones podrán ajustarse de tal manera que sean adecuadas al sitio de diseño, para el diseño que se muestra, se considerará un hacinamiento de 4 habitantes por vivienda que utilizarán el Tanque Séptico.

Al final se muestra la tabla de resultados para el cálculo de uso para 5 y 6 habitantes en la vivienda.

Procedimiento para diseño

Volumen diario

El volumen diario por vivienda está dado por el producto del número de personas por la aportación de agua servida.

$$V_d = 4 \text{ hab} (35 \text{ l/hab/día}) = 140 \text{ l/día}$$

El tiempo de retención hidráulica se considera de tres días, por lo que el volumen del tanque será

$$V_t = 140 \times 3 = 420 \text{ l}$$

Como se reservan 3/4 partes del volumen total del tanque para retención de sólidos, el volumen total del tanque será de

$$V_T = 420 \times 4 = 1680 \text{ l} = 1.68 \text{ m}^3.$$

Se recomienda que la profundidad útil del tanque sea de 1 m, y que la relación largo a ancho sea de 2 a 3.

Debido a que el $V_T = 1.68 \text{ m}^3$, y como se tiene una $H_2 = 1 \text{ m}$, el área necesaria en planta (A_{np}) para cubrir el volumen requerido, será de 1.68 m^2 . Si proponemos una relación Largo / ancho = 2 se tiene:

$$A_{np} = L \cdot B \text{ como } L = 2B; \text{ entonces } A_{np} = 2B^2; \quad \text{así } 1.68 = 2B^2$$

Por lo tanto $B = 0.92 \text{ m}$ y $L = 1.83 \text{ m}$

Dimensiones del tanque séptico para una vivienda de 4 habitantes.

Largo: 1.83 m

Ancho: 0.92 m

Profundidad útil: 1.00 m

Como se recomienda construir dos cámaras, la primera con $2/3$ del volumen y la segunda con $1/3$ restante se tiene:

$$L_1 = (2/3)L = (2/3) * 1.83 = 1.22 \text{ m}$$

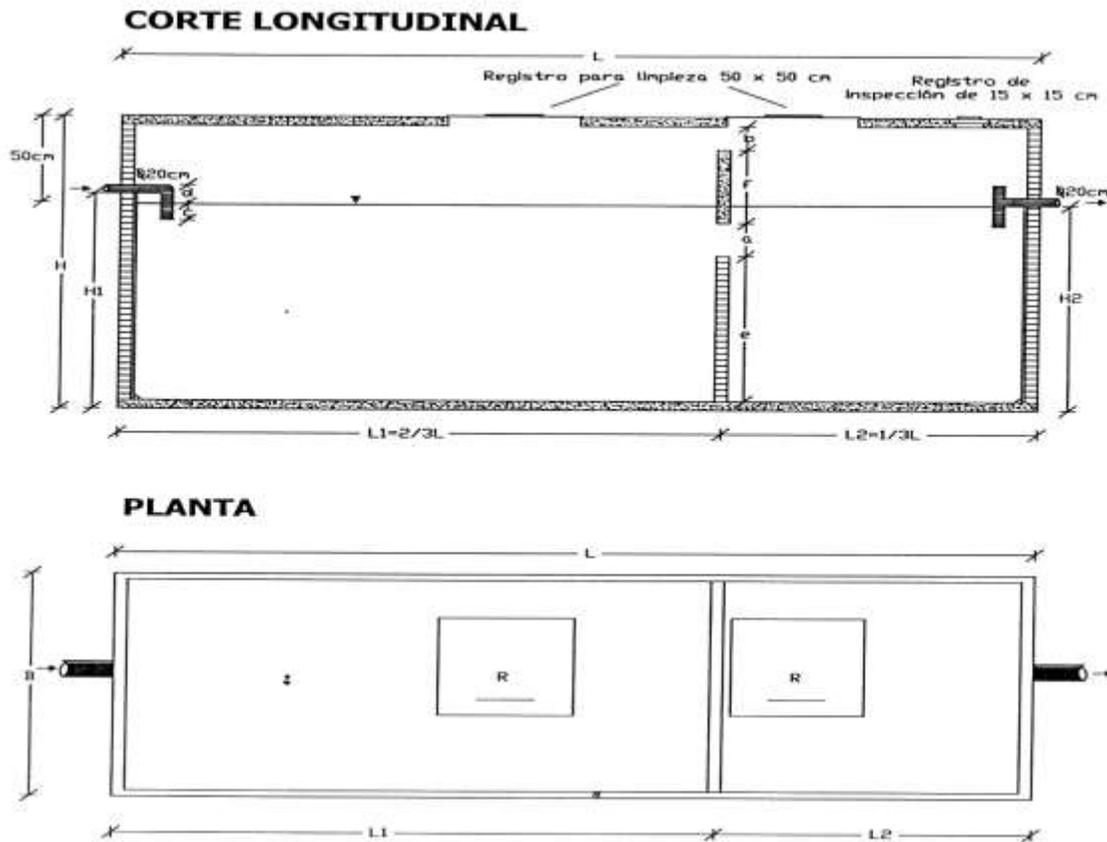
$$L_2 = (1/3)L = (1/3) * 1.83 = 0.61 \text{ m}$$

Como se aprecia en la figura

$$H = 1.50 \text{ m}$$

$$H_1 = 1.05 \text{ m}$$

$$H_2 = 1.00 \text{ m}$$



A continuación se muestra una tabla con los resultados del cálculo para diferente número de habitantes.

Habitantes	Volumen diario (l)	Volumen del tanque (l)	Volumen para sólidos (l)	Volumen total	Profundidad útil (m)	Relación largo/ancho	b (m)	L (m)	L1 (m)	L2 (m)	H1 (m)	H (m)	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)	e (m)	f (m)
4	140	420	1260	1680	1	2	0.92	1.83	1.22	0.61	1.05	1.5	0.2	0.1	0.25	0.05	0.65	0.55
5	175	525	1575	2100	1	2	1.02	2.05	1.37	0.68	1.05	1.5	0.2	0.1	0.25	0.05	0.65	0.55
6	210	630	1890	2520	1	2	1.12	2.24	1.50	0.75	1.05	1.5	0.2	0.1	0.25	0.05	0.65	0.55

6.3.1. Tanque Prefabricado

Si en vez de construir un tanque/fosa séptica, se opta por adquirir un tanque prefabricado, es importante consultar las especificaciones de cada fabricante y además verificar las dimensiones y el funcionamiento de acuerdo a la Norma

correspondiente, a saber, NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-006-CNA-1997, FOSAS SÉPTICAS PREFABRICADAS-ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA.

6.4. Tratamiento anaerobio mediante un RAFA

Se muestra en la tabla siguiente un resumen de los principales criterios hidráulicos para el diseño de estos reactores de acuerdo con (Chernicharo de Lemus 2007).

Criterio/Parámetro	Rango de valores, como una función de flujo			
	Q prom	Q max	Q pico*	Unidades
Carga volumétrica hidráulica	<4	<6	<7	m ³ /(m ³ d)
Tiempo de residencia hidráulica	6-9	4-6	>3.5-4	h
Velocidad de flujo ascendente	0.5-0.7	<0.9-1.1	<1.5	m/h
Velocidad en la abertura para sedimentación	<2-2.3	<4-4.2	<5.5-6	m/h
Tasa de carga de superficie en el sedimentador	0.6-0.8	<1.2	<1.6	m/h
Tiempo de residencia hidráulica en el sedimentador	1.5-2	>1	>0.6	h

*Flujo pico con duración entre 2 y 4 horas.

**Temperatura del agua residual entre 20 a 26°C

En la siguiente tabla se muestran los criterios a seguir para el diseño de un RAFA, adaptado de (Chernicharo de Lemus 2007) y de (Metcalf & Eddy 2003).

Criterio	Parámetros	Rango de valores
Distribución del afluente	Diámetro del tubo de distribución del afluente (mm)	75-100
	Diámetro de la desembocadura del tubo de distribución (mm)	40-50
	Distancia entre la parte superior del tubo de distribución y el nivel del agua en el sedimentador (m)	0.2-0.3
	Distancia entre la desembocadura y la parte inferior del reactor (m)	0.1-0.15
	Área de influencia de cada tubo de distribución (m ²)	2-3
Colector de biogás	Tasa de liberación mínima de biogás (m ³ /m ² h)	1
	Tasa de liberación máxima de biogás (m ³ /m ² h)	3-5

	Concentración de metano en el biogás (%)	70-80
Compartimiento de sedimentación	La superposición de los deflectores de gas en relación con la abertura para el compartimiento de la sedimentación (m)	0.1-0.15
	Pendiente mínima de las paredes del sedimentador (°)	45
	Pendiente optima de las paredes del sedimentador (°)	50-60
	Profundidad del compartimiento del sedimentador (m)	1.5-2
Colector del efluente	Inmersión del deflector de nata o el perforado del tubo de recolección (m)	0.2-0.3
	Número de vertedores triangulares (unidades/m ² del reactor)	1-2
	Rendimiento de la producción de sólidos (kgSST/kgDQO aplicada)	0.1-0.2
	Rendimiento de la producción de sólidos, en términos de DQO (kgDQO lodo/kgDQO aplicada)	0.11-0.23
Producción y muestreo del lodo	Concentración de sólidos esperado en el exceso de lodo (%)	2-5
	Densidad del lodo (kg/m ³)	1020-1040
	Diámetro de las tuberías de descarga del lodo (mm)	100-150
	Diámetro de las tuberías de muestreo del lodo (mm)	25-50

Para el diseño de un RAFA, se requieren como datos iniciales de entrada los siguientes:

- Caudal afluente medio
- Caudal afluente máximo horario
- DQO afluente promedio
- DBO afluente promedio
- Temperatura del agua residual

En la siguiente parte se indican los pasos a seguir para el diseño de un RAFA.

a- Datos de entrada:

Caudal afluente promedio Q_{ip}

Caudal afluente máximo horario Q_{maxh}

DQO afluente promedio S_0

DBO afluente promedio S_0

Temperatura del agua residual

b- Calcular la carga de DQO en el afluente promedio L_0

$$L_0 = S_0(Q_{ip})$$

c- Seleccionar el tiempo de residencia hidráulica t de acuerdo a las recomendaciones anteriores.

d- Determinar el volumen total del reactor V

$$CHV = \frac{Q_{ip}}{V}$$

e- Especificar el número de módulos del reactor N ; El volumen del reactor deberá ser menor a 1500 m³ de acuerdo a (Metcalf & Eddy 2003), para sistemas pequeños el volumen del reactor deberá ser <500 m³ de acuerdo a (Chernicharo de Lemus 2007).

f- Calcular el volumen de cada módulo V_u

$$V_u = \frac{V}{N}$$

g- Establecer un valor para la altura del reactor H ; de acuerdo a (Chernicharo de Lemus 2007) la altura deberá ser entre 3 a 6 metros, y de 6 metros de acuerdo a (Metcalf & Eddy 2003). En caso de tener una altura menor a 3 metros se deberá justificar.

h- Determinar el área de cada módulo A

$$A = \frac{V_u}{H}$$

- i- Calcular las dimensiones del área del reactor; para rectangular su largo y ancho y para forma circular definir su diámetro.
- j- Determinar la carga hidráulica volumétrica CHV y compararla con las recomendaciones de diseño de las tablas anteriores.

$$CHV = \frac{Q_{ip}}{V}$$

- k- Determinar la carga orgánica volumétrica COV y compararla que oscile entre 2 y 4 kgDQO $m^{-3} d^{-1}$ de acuerdo a (Metcalf & Eddy 2003) y entre 1.15 a 1.45 kgDQO $m^{-3} d^{-1}$ de acuerdo con (Van Lier *et al* 2010) para aguas residuales domésticas a 20 °C.

$$COV = \frac{Q_{ip}(S_0)}{V}$$

- l- Velocidad de flujo ascendente, para Q_{ip}

$$v = \frac{Q_{ip}}{A_T}$$

- m- Velocidad de flujo ascendente para Q_{maxh}

$$v = \frac{Q_{maxh}}{A_T}$$

- n- Comparar la velocidad de flujo ascendente de acuerdo a los valores recomendados en las tablas anteriores.
- o- Establecer un área de influencia de los tubos de alimentación del sistema de distribución del agua residual en el afluente, de acuerdo a las recomendaciones de las tablas anteriores.

p- Calcular el número de tubos de distribución del agua residual en el afluente.

$$Nd = \frac{A_T}{A_d}$$

q- Calcular la remoción de la DQO:

$$E_{DQO} = 100(1 - 0.68t^{-0.35})$$

r- Calcular la remoción de la DBO:

$$E_{DBO} = 100(1 - 0.70t^{-0.50})$$

s- Estimar las concentraciones de DQO y DBO en el efluente final, así como estimar la producción de metano:

$$C_{efl} = \frac{S_0 - E(S_0)}{100}$$

$$DQO_{CH_4} = Q_{ip}[(S_0 - C_{efl}) - Y_{obs}(S_0)]$$

$$K_T = \frac{P(K_{DQO})}{R(273 + T)}$$

$$P = 1 \text{ atm}$$

$$K_{DQO} = 64g \text{ DQO}$$

$$R = 0.08206 \text{ Atm}/(\text{molK})$$

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{K_T}$$

t- Estimación de la producción de biogás, considerando un contenido de metano del 75% en el biogás.

$$Q_g = \frac{Q_{CH_4}}{0.75}$$

- u- Calcular la producción del lodo Pl y establecer un coeficiente del rendimiento de sólidos Y de acuerdo a las tablas de referencia anteriores.

$$Pl = Y(DQO_{aplicada})(L_0)$$

- v- Calcular el volumen del lodo Vl y establecer la densidad del lodo y y una concentración esperada de la descarga del lodo C de acuerdo a las tablas de referencia anteriores.

$$Vl = \frac{Pl}{yC}$$

7. Especificaciones

Se muestra enseguida los materiales y especificaciones básicas que deben cumplir los componentes del sistema de tratamiento a nivel vivienda en el medio rural.

7.1. Sobre los espacios disponibles.

Previo al diseño del sistema que se prevea instalar, se deberá verificar en campo mediante visita a las viviendas, sobre los espacios disponibles para la instalación del sistema de tratamiento de tal manera que se busque el arreglo más adecuado en cada caso. Se deberá verificar el sitio de tal manera que el pozo o campo de absorción se ubique en un espacio poroso que no se inunde, de tal manera que el efluente del sistema se infiltre.

7.2. Requerimientos de los elementos aceptables y sus componentes.

Los componentes principales del sistema son la descarga de las aguas residuales de la vivienda, el registro previo al reactor, trampa de grasas para recibir aguas

grises, el reactor (dispositivo de tratamiento anaerobio), el tubo de efluente y el punto de descarga (pozo de absorción o campo de absorción).

7.2.1. Materiales para la tubería del influente y el efluente.

La conducción del agua captada podrá realizarse con tubería fabricada de cualquiera de los siguientes materiales:

- PVC.
- ABS.
- Polipropileno.
- Polietileno.

Todas ellas podrán ser del material que se considere más adecuado, siempre y cuando cumplan con las especificaciones para su uso en el transporte de aguas residuales domésticas.

Así también se deberá cumplir con las especificaciones de la NOM-001-CONAGUA-2011, “Sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario-hermeticidad-especificaciones y métodos de prueba”.

7.2.2. Materiales de los elementos del reactor de tratamiento.

El depósito podrá ser de materiales prefabricados, entre los que se incluyen plásticos resistentes a la presencia de aguas residuales, los cuales deberán garantizar una impermeabilidad del reactor tal que se evite la contaminación del subsuelo en donde se asiente el dispositivo.

También podrán elaborarse de materiales constructivos convencionales, definiendo aquel que sea económicamente viable en base a las características del sitio y las dimensiones del mismo, este punto es importante de considerar de acuerdo a la región donde se esté realizando la instalación del sistema, como ejemplo cabe mencionar que en la Península de Yucatán, no es común el uso de tabique rojo recocido debido a que en la región no existe el material para su fabricación, por lo que se deberá optar por alguna otra técnica constructiva o en su caso por elementos prefabricados.

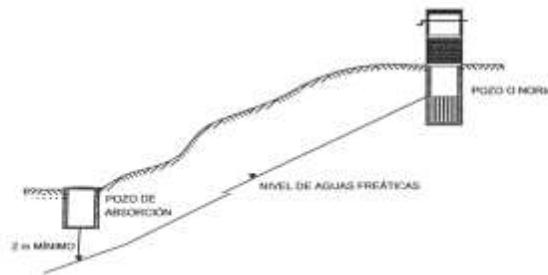
7.3. Ubicación del sistema al interior del predio o la vivienda.

Como parte inicial se podrá considerar la ubicación del sistema de tratamiento de aguas residuales en la vivienda, en función a la distribución interna de los puntos de aporte al mismo, como baño, regadera, cocina o lavadero en caso que cuenten con ellos, de tal manera que se disminuya en la medida de lo posible el traslado de las aguas negras y grises al interior del predio y lleguen lo más rápido posible al sistema de tratamiento, se podrá consultar al beneficiario sobre los espacios disponibles con que cuenta en el predio para la instalación del sistema, eligiendo aquel sitio de las opciones disponibles, que presente características de suelo impermeable para **garantizar la protección de cuerpos de agua cercanos al sitio de instalación.**

FIGURA 4. UBICACIÓN DEL POZO DE ABSORCIÓN RESPECTO AL CUERPO DE ORIGEN (LAGO, RÍO, O POZO DE EXTRACCIÓN)



Si se trata de proteger un pozo o noria éste debe de estar a 15 m de distancia requerida hacia la parte más baja del terreno



Como parte de los trabajos en campo para garantizar lo anterior, es que durante la instalación del sistema se garantice la impermeabilidad del mismo, revisando antes de su puesta en marcha que no existan filtraciones o fugas al exterior del mismo, lo que ocasionaría que se dispersara el agua residual en el predio y por ende en cuerpos de agua cercanos a la vivienda.

Localización

Para evitar la contaminación de fuentes de suministro (pozo, noria, corriente superficial):

El sitio de construcción del sistema debe estar preferentemente a 15 metros de distancia medida perpendicularmente a la tangente del cuerpo de agua más cercano, y al menos a 3 metros de la vivienda.

En caso que el nivel de aguas freáticas sea cercano a la superficie, se deberá verificar que el fondo del tanque séptico debe estar preferentemente a 2 metros arriba del nivel de aguas freáticas, igual el pozo o campo de absorción.

8. Operación y mantenimiento

8.1. Operación.

El sistema de tratamiento anaerobio, requiere una operación sencilla pero con puntos importantes que garanticen una larga vida útil al sistema, cabe resaltar que las aguas grises en caso de que sean reutilizadas por los usuarios para riego de plantas o áreas verdes se deberá respetar dicha actividad, dado que éstas aguas tienen la calidad suficiente para aplicarse en estas actividades, aun cuando ocurra esto en la vivienda que se esté analizando, en el proyecto se deberá plantear la instalación de una trampa de grasas que pueda recibir las aguas grises y sean incorporadas al sistema en un punto posterior al reactor (biodigestor, fosa, etc.) para que en un dado caso que en un futuro se pierda la costumbre en la vivienda del reúso de aguas grises, se tenga la posibilidad de descargar dichas aguas de manera separada a las aguas negras.

Antes de su puesta en marcha se deberá realizar una revisión detallada por parte del instalador, para verificar que no se presenten fugas ni filtraciones en los puntos de conexión, una vez operando se deberá realizar una inspección visual para verificar su impermeabilidad por parte del usuario, en esta parte el

usuario deberá contar con los datos del instalador para comunicarle dentro del período de asentamiento del sistema, los posibles fallos o fugas que el usuario hubiese detectado para su corrección por parte del instalador, para lo cual la dependencia responsable de la instalación y el Organismo Operador, deberán dar seguimiento a los sistemas instalados durante el tiempo de vigencia de la fianza de vicios ocultos.

Antes de iniciar el uso sistema, en caso de ser posible se deberá llenar de agua para verificar posibles fugas, en caso contrario se deberá capacitar al usuario para que pueda verificar posibles puntos de fuga una vez que inicie su operación, para lo cual en caso de detectar una falla se le deberá dar aviso al Organismo Operador y al Instalador para que se realice la corrección correspondiente.

Para cualquier actividad de revisión o reparaciones, se deberá contar con guantes y botas de hule para prevenir posibles enfermedades.

8.2. Drenado de lodos

Para el caso de cualquier tipo de reactor o de tratamiento que se trate, se deberá verificar que la acumulación de lodos no traspasa de la tercera parte de la capacidad total del reactor, en ese momento se deberá hacer un drenado de los mismos, en el caso de las fosas sépticas se deberá realizar la limpieza de esta mediante el retiro de lodos y en el caso de los biodigestores o reactores de flujo ascendente, realizar el drenado de lodos mediante la válvula instalada para tal fin.

En los sistemas en general se deberá verificar que tanto el influente como el efluente de las aguas, no se encuentre obstruido por elementos ajenos al

sistema, pues en cualquier caso ocasionaría un desborde de las aguas residuales en el sitio generando un problema de salud en la vivienda.

8.3. Limpieza de trampa de grasas.

La trampa de grasas o interceptor de grasas es un receptáculo que permite la separación y recolección de grasas y aceites del agua usada y evita que estos materiales ingresen al sistema de tratamiento.

Previa inspección del nivel de natas o grasas en la superficie de la trampa siendo esta mayor a 3cm iniciar con el mantenimiento, utilizando guantes o alguna protección en las manos:

- Destapar y extraer los flotantes que son las natas de grasas y aceites, usar un colador con orificios que le permita retirarlos.
- Si hay suficiente cantidad retirar los lodos del fondo dejando un residuo aproximado al 20% del total.
- Remover grasas, aceites y sólidos del fondo de la trampa usando espátulas, palas o herramientas que le permitan realizar esta labor.
- Recoger y transportar las natas y lodos, retirándole toda el agua posible. Evitar cualquier derrame.
- Las grasas se deben vaciar en fundas completamente cerradas y listas para depositarlas en la basura.

8.4. De la capacitación a los usuarios beneficiados.

Una vez concluida la instalación de los sistemas tratamiento, se deberá brindar una capacitación presencial a todos los usuarios beneficiados, seleccionando uno de los sistemas instalados como modelo de referencia, mostrando de

manera física las acciones de limpieza, mantenimiento y operación de cada componente del sistema, para esta parte se deberá entregar previamente el manual en español y en los casos que aplique en una comunidad indígena, se deberá entregar adicional un manual en la lengua de la comunidad, de tal manera que se puedan seguir los pasos del manual y los usuarios puedan ligar lo mostrado en el manual impreso con actividades que realicen los capacitadores en el sistema que se haya elegido como sitio de capacitación.

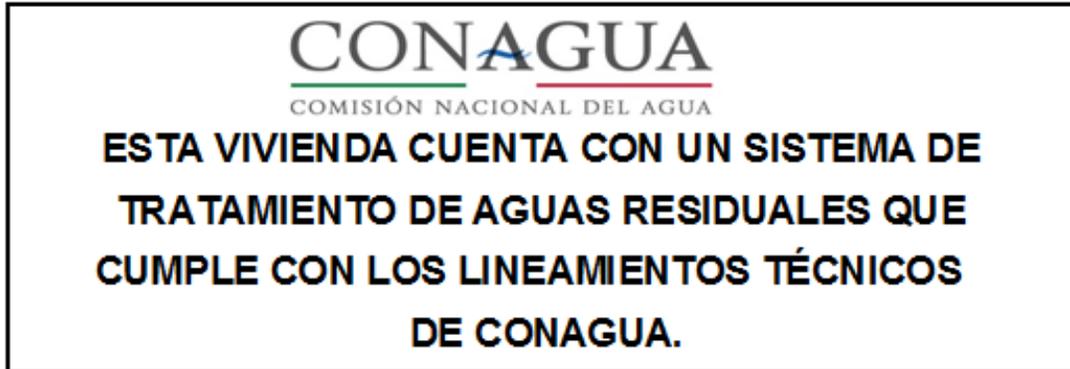
Se deberá invitar a esta actividad a las autoridades municipales o a personal del Organismo Operador, según sea el caso, para que cuenten también con la capacitación respectiva y puedan brindar asesoría posterior en caso que el usuario tuviera alguna dificultad con el sistema, , para brindar una capacitación adecuada, se deberá limitar la misma hasta a 20 usuarios beneficiados, contándose por vivienda, de tal manera que si existen comunidades dispersas se podrán conjuntar para la capacitación esta cantidad.

Se deberá proveer en el manual, de las actividades básicas de operación y mantenimiento, así como de acciones básicas para los casos que ocurra un taponamiento del efluente o el influente en el sistema así como sus posibles soluciones, en caso que el sistema presente un fallo mayor, se deberá pedir apoyo a los Organismos Operadores o contactar al instalador.

8.5. Acciones posteriores a la instalación y verificación del sistema .

Para la identificación del sistema instalado por la Comisión Nacional del Agua se deberá colocar una pequeña placa metálica en la vivienda o en alguno de los componentes del sistema de tal manera que sea fácilmente visible e identificable, con la leyenda “Esta vivienda cuenta con un sistema de

tratamiento de aguas residuales que cumple con los lineamientos técnicos de CONAGUA”, lo cual se deberá inscribir como se muestra a continuación:



El identificador deberá contar con el logotipo de la Comisión Nacional del Agua, las dimensiones de la placa deberán ser de 35 cm de base con 22 cm de altura.

9. Bibliografía

Chernicharo de Lemus. C. A. (2007). *Anaerobic Reactors*. IWA, edition. ISBN: 1843391643

Comisión Nacional del Agua (2015). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Zonas Rurales, Periurbanas y Desarrollos Ecoturísticos*. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. México.

Guevara V., A.; (1996). *Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes*. Documento OPS/CEPIS/96. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – Organización Panamericana de la Salud. Lima, 80p.

Metcalf & Eddy. (2003). *Wasterwater Engineering Treatment and Reuse*. 4th. New York: Mc Graw Hill.

Romero, Rojas J (2001). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Escuela Colombiana de Ingeniería, Primera Edición, Bogotá.

UNATSABAR (2003). *Especificaciones técnicas para el diseño de trampa de grasa*. Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural. OPS-OMS. Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.

Van Lier, J.B., Vashi, A., Van Der Lubbe, J., and Heffernan, B. (2010). *Anaerobic Sewage Treatment Using UASB Reactors: Engineering and Operational Aspects*,

en Herbert HP Fang. Environmental Anaerobic Technology. Imperial College Press. ISBN-13 978-1-84816-542-7.

Von Sperling. M. (2007). *Wastewater Characteristics Treatment and Disposal*. IWA Publishing, London, Nueva York.