



DISEÑO DE FOSAS SÉPTICAS RECTANGULARES MEDIANTE EL USO DE LA HERRAMIENTA FOSEP

DESIGN OF RECTANGULAR SEPTIC TANKS BY FOSEP TOOL

C.A. Lucho-Constantino^{1*}, S.A. Medina-Moreno², R.I. Beltrán-Hernández¹, B. Juárez-Cruz²,
G.A. Vázquez-Rodríguez¹, L. Lizárraga-Mendiola³

¹Centro de Investigaciones Químicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carr. Pachuca-Tulancingo km. 4.5, tel. y fax (771) 7172000 ext. 2216, C.P. 42076, Pachuca Hgo., México.

²Universidad Politécnica de Pachuca, Ingeniería en Biotecnología, Carretera Pachuca-Cd. Sahagún km. 20, tel y fax (771) 5477510, ext. 2205. C.P. 42830. Zempoala, Hidalgo.

³Área Académica de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carr. Pachuca-Tulancingo km. 4.5, tel. y fax (771) 7172000 ext. 4001, C.P. 42184, Pachuca Hidalgo, México.

Recibido 14 de Junio, 2015; Aceptado 13 de Octubre, 2015

Resumen

Las fosas sépticas constituyen una alternativa de bajo costo para el tratamiento de las aguas residuales generadas en zonas rurales y urbanas. La eficiencia en la remoción de contaminantes de un tanque séptico depende de las características del efluente y en particular del tamaño del tanque. El objetivo de este trabajo fue el desarrollo de una aplicación informática que calcula las dimensiones de un tanque séptico rectangular para servicio doméstico o público con un volumen máximo de 15 000 L. La aplicación FOSEP se construyó con lenguaje de programación *Visual Basic* v. 6.0 para el cálculo de las variables longitud (L), ancho (A), tirante menor (H1), tirante mayor (H2) y volumen total (Vt). La herramienta FOSEP se aplicó a un caso de estudio para evaluar el diseño y funcionamiento de una fosa séptica que trata el agua residual doméstica generada por 60 usuarios de la comunidad "El Alberto" en el estado de Hidalgo. El análisis del diseño con la herramienta FOSEP mostró que la fosa séptica no cumple con las dimensiones recomendadas por esta aplicación, pero es eficiente en la remoción de DQO, SST, SSV y coliformes fecales.

Palabras clave: tratamiento biológico, tanques sépticos, aguas residuales domésticas, materia orgánica, coliformes totales.

Abstract

A low-cost alternative for treating wastewater generated in rural and urban areas are septic tanks. The removal efficiency of pollutants depends on septic tank effluent characteristics and particularly on the size of the tank. The objective of this work was to develop a tool application that calculates the size of a rectangular septic tank for domestic or public service with a maximum volume of about 15 000 L. The FOSEP application, built with Visual Basic programming language v. 6.0, calculates the sizing variables length (L), width (A), minor tie bar (H1), major tie bar (H2) and total volume (Vt). The FOSEP tool was applied to a case study to evaluate the design and operation of a septic tank treating the domestic wastewater generated by 60 users of "The Alberto" community in the state of Hidalgo. The design analysis carried out by means of the FOSEP tool showed that the septic tank was oversized, but it removes efficiently COD, TSS, VSS and fecal coliforms.

Keywords: biological treatment, septic tank, domestic wastewater, organic matter, fecal coliforms.

1 Introducción

En México, la forma de evacuación de aguas residuales de origen doméstico es la descarga a un sistema de alcantarillado sanitario (DOF, 1999); sin embargo, no toda la población tiene acceso a este

servicio. La Comisión Nacional del Agua (CNA) registró en el año 2013 una cobertura del sistema de alcantarillado de un 90.9% para la población en zonas urbanas y 71.2% en zonas rurales (SEMARNAT y CNA, 2014). Esto incluye a las personas que tienen conexión a la red de alcantarillado o a una fosa séptica,

* Autor para la correspondencia. E-mail: a.lucho@yahoo.com.mx
Tel. 77-17-20-00, ext. 2216; Fax 77-17-20-19

desagüe, barranca, grieta, lago o mar (CNA, 2012). En el año 2013, la capacidad instalada para el tratamiento de aguas residuales (2 287 plantas en operación) en nuestro país fue de 152.17 m³/s, con un caudal tratado de 105.93 m³/s. A nivel nacional, sólo se le da tratamiento al 50.2% del agua residual generada por los municipios. Para dar tratamiento a las aguas residuales de origen industrial, se cuenta con 2 651 plantas de tratamiento, con una capacidad instalada de 60.57 m³/s (SEMARNAT y CNA, 2014).

Una alternativa para el tratamiento *in situ* de aguas residuales es el uso de fosas sépticas, sistemas de tratamiento secundario de aguas residuales que han probado su efectividad en la digestión de contaminantes orgánicos y en la reducción de sólidos volátiles, tanto en áreas rurales como urbanas (USEPA, 1980; Collado-Lara, 1992; Reynolds, 2002; Tchobanoglous y col., 2003; Tilley y col., 2008). En nuestro país sólo el 4.15% de los procesos de tratamiento de aguas residuales municipales utilizan fosas sépticas, lo que equivale a 95 unidades en operación (SEMARNAT y CNA, 2014). En Estados Unidos de América casi uno de cada cuatro hogares depende de un sistema individual séptico, también referido como un sistema *in situ* para tratar sus aguas residuales. En México, la Norma Oficial Mexicana NOM-006-CNA-1997 hace hincapié en que los sistemas de tratamiento basados en fosas sépticas (procesos de fermentación y oxidación) son una opción viable y económica en la resolución de problemas de contaminación en el ámbito urbano (localidades mayores a 2 500 habitantes) y rural (localidades menores a 2 500 habitantes) en localidades que no están conectadas a un sistema de drenaje municipal (DOF, 1999). La construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas previene la proliferación de enfermedades gastrointestinales que pueden ser transmitidas por el agua. Las fosas sépticas correctamente diseñadas y construidas (con materiales como el concreto, fibra de vidrio, tabique, plástico y polietileno) ayudan a minimizar la posibilidad de transmisión de enfermedades y de contaminación de agua subterránea y superficial. Entre esta variedad de materiales utilizados para su construcción, los prefabricados tienen la ventaja de ser más ligeros, lo cual facilita su transporte hacia el lugar donde se instalarán; además, son menos susceptibles a la corrosión. Por otro lado, cuando se requiere emplear el concreto, es preferible construir el tanque *in situ* debido a la dificultad para transportar tanques de gran tamaño. La selección del material con el cual se construirá la fosa séptica

queda entonces a juicio del propietario de acuerdo con el costo del material, la facilidad para transportar el material hacia el lugar donde se instalará, así como la factibilidad para construirla según su adecuado dimensionamiento. Sin embargo, en México muchas fosas sépticas siguen construyéndose sin que se tome en cuenta el caudal de agua residual que recibirán; así mismo, el diseño de estos sistemas frecuentemente se apoya en el empleo de tablas y cálculos que aunque son prácticos, pudieran ser más precisos (Becerril, 2002; Febles-Patrón y Hoogesteijn, 2008; Villegas, s.f.).

2 Antecedentes

Fosas sépticas

Las fosas sépticas tienen su origen en Francia; donde fueron diseñadas y construidas por primera vez por John Mouros en 1860 (Villegas, s.f.). Este sistema de tratamiento descentralizado es la unidad más común de tratamiento a pequeña escala para aguas grises y aguas negras. Se trata básicamente de un tanque de sedimentación y su forma puede ser rectangular o cilíndrica. El primer prototipo fue fabricado con material de concreto y tubería de arcilla. Los primeros tanques sépticos se construyeron con madera de secuoya y más tarde de polietileno (muchos de ellos con dificultades estructurales) (Alth y Alth, 1992). Los tanques sépticos modernos se construyen generalmente de concreto, fibra de vidrio, polietileno, ferrocemento, plástico y de bloques de concreto, y están disponibles como unidades prefabricadas. Los tanques de fibra de vidrio y de plástico son ligeros y de uso frecuente en los sitios donde se dificulta el transporte de los tanques de concreto.

Estos sistemas generalmente están diseñados para tratar el agua residual durante un tiempo de retención (TRH) mínimo de 36 a 72 horas, lo que permite la separación de las partículas suspendidas (USEPA 1980, 2000; Crites y Tchobanoglous, 1998; Tchobanoglous y col., 2003; Stewart, 2005; Bitton, 2005; Tilley y col., 2008). En este sistema, los sólidos flotantes, las grasas y los aceites tienden a acumularse en la superficie, en donde forma una capa flotante de espuma o nata, mientras que los lodos sedimentan en el fondo del tanque (Méndez-Novelo y col., 2007). La materia orgánica retenida en el fondo recibe un tratamiento biológico de descomposición anaerobia y facultativa, la cual reduce el volumen de sólidos acumulados hasta en un 50% y produce metano (CH₄),

dióxido de carbono (CO₂) y sulfuro de hidrógeno (H₂S), entre otros compuestos (Seabloom y col., 1982; USEPA, 2000; Stewart, 2005; Méndez-Novelo y col., 2007). Un tanque séptico genera pequeñas cantidades de lodos (3783-7566 L/tanque cada 2-5 años), que pueden vertirse o aplicarse al suelo, o bien mezclarse con el agua residual municipal para su posterior tratamiento (la concentración de sólidos en estos lodos es aproximadamente 50 veces mayor que la de un agua residual municipal). Si el tratamiento del agua residual en el sistema no es eficiente, se recomienda realizar un tratamiento a los lodos con la finalidad de inactivar microorganismos patógenos como coliformes fecales, *Salmonella* spp. y huevos de helmintos (Atenodoro-Alonso y col., 2015). El tanque debe supervisarse regularmente, con la finalidad de evaluar el tiempo de limpieza del sistema (3-5 años)(Bitton, 2005).

Se han reportado eficiencias en la remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) entre 46-68%, de 30 a 81% para sólidos suspendidos totales (SST), de 20 a 65% para fosfatos y de 25 a 66% para coliformes fecales; en el caso de los virus, no se reportan inactivaciones perceptibles después del tratamiento biológico, aunque las eficiencias varían mucho en función de la operación, el mantenimiento y las condiciones climáticas (Seabloom y col., 1982; Bitton, 2005). En climas cálidos, los tanques sépticos pueden remover de manera eficiente ($\geq 80\%$) los SST y hasta el 90% de la DBO₅ del influente, mientras que en climas fríos, la remoción tiende a ser menos eficiente ($< 50\%$) debido a que la actividad bacteriana disminuye a la par de la temperatura.

Con la finalidad de reducir las concentraciones de materia orgánica, nutrientes y patógenos, así como de evitar la contaminación del agua subterránea, se recomiendan tratamientos posteriores del efluente tales como los filtros de grava y arena, sistemas de dosificación a presión, sistemas Moud (sistemas mixtos de grava, arena, suelo y cubierta vegetal), camas de absorción y humedales, entre otros. Para la selección del tipo de tratamiento más eficiente, deben tomarse en cuenta factores como los volúmenes de agua residual a tratar, el tipo de clima local predominante, así como la selección del material más adecuado para la construcción de la fosa séptica, en función del costo y su capacidad de adsorción de los contaminantes.

Debido a que el tratamiento adecuado del agua residual en un tanque séptico dependerá de las características del efluente y el diseño del tanque, es importante proporcionar herramientas e información básica a los usuarios de estos sistemas, que permitan

un diseño adecuado de tanques sépticos que a la vez evite problemas de salud pública y riesgos de contaminación ambiental. Por tal motivo, el objetivo de este trabajo fue el desarrollo de la aplicación informática FOSEP, que permite diseñar fosas sépticas rectangulares que traten hasta 15 000 L de aguas residuales domésticas mediante el cálculo de las variables más representativas del diseño de este tipo de sistemas. FOSEP es una herramienta que permite realizar el diseño de fosas sépticas rectangulares de manera rápida, sencilla y de fácil comprensión para el usuario.

3 Materiales y métodos

3.1 Desarrollo de la aplicación FOSEP

Para el desarrollo de la aplicación informática FOSEP se consideraron los siguientes aspectos metodológicos:

i) *Recopilación de información general y particular sobre fosas sépticas.* A partir de esta recopilación, se establecieron criterios básicos para el diseño y construcción de estos sistemas en comunidades urbanas y rurales (Cotteral y Norris, 1969; Fawcett y Stein, 1991; Alth y Alth, 1992; Unda, 1993; New York Department of Health, 1996; Bounds, 1997; DOF, 1999; Arundel, 2000; Becerril, 2002; Bitton, 2005).

ii) *Identificación de variables básicas para el diseño* (Cotteral y Norris, 1969; Steel y McGhec, 1979; New York Department of Health, 1996; Bounds, 1997; Arundel, 2000). Las variables que han sido identificadas por ser las más representativas en el diseño de fosas sépticas son: H1 (tirante menor), H2 (tirante mayor), L (longitud), A (ancho), y volumen total (Vt), las cuales fueron utilizadas para el diseño de fosas sépticas de acuerdo con el número de usuarios como lo propone Becerril (2002).

Diversos autores (Cotteral y Norris, 1969; Steel y McGhec, 1979; Arundel, 2000) toman como parámetro principal para el diseño de fosas sépticas el gasto volumétrico o caudal que genera cada usuario, sin importar las características fisicoquímicas del efluente. En cambio, la USEPA (1984) sugiere valores mínimos, máximos y promedios de parámetros fisicoquímicos del influente para el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

iii) *Validación de variables numéricas en la aplicación informática FOSEP.*

A partir de los datos propuestos por Becerril (2002) y mediante ajuste por regresión no lineal, se

generaron las ecuaciones de diseño del volumen total V_t (Ec. 1) como función de las variables H_1 , H_2 , L y A . Los datos fueron ajustados a modelos de tipo exponencial (H_1 , H_2) y cuadrático (L , A) utilizando el programa SigmaPlot v.10 (Figuras 1a-1d). En todos los ajustes el coeficiente de correlación fue mayor a 0.99 ($r > 0.99$). Las ecuaciones de ajuste son ecs. (2)-(5):

Para obtener el volumen total (V_t) de las fosas sépticas se empleó la fórmula propuesta por Arundel (2000)(Ec. 1):

$$V_t = [(\text{Litros/persona} \times \text{día}) \times (\text{personas o usuarios})] \quad (1)$$

$$V_t = 1339.8e^{0.2772H_1} \quad (2)$$

$$V_t = 1378.5e^{0.2734H_2} \quad (3)$$

$$V_t = 488.84L^2 + 1402.2L + 941.54 \quad (4)$$

$$V_t = 4612.5A^2 - 137.65A + 1516.9 \quad (5)$$

iv) *Desarrollo de la aplicación informática.* Se utilizó

lenguaje Visual Basic 6.0 (Microsoft Corporation, 1998), el cual utiliza módulos de estructura secuencial a través de una interfaz gráfica para el cálculo de las variables de diseño. Se incorporó una interfaz gráfica de entrada de datos y de presentación de las variables calculadas para una fosa séptica rectangular, que incluye planos de construcción y notas técnicas (Fig. 2).

v) *Aplicación de FOSEP a un caso de estudio.* Se realizó la evaluación del diseño de una fosa séptica de la comunidad “El Alberto”, ubicada en el Municipio de Ixmiquilpan, Hidalgo. La fosa séptica construida da tratamiento al agua residual generada por 60 usuarios de una escuela de nivel preescolar y primaria, así como del centro de salud de la comunidad. Para realizar la evaluación del diseño del sistema, se realizó una visita de campo en la que se recopilaban datos sobre los siguientes parámetros: L , A , H_1 y H_2 , así como la distancia (m) de la entrada de la fosa a la mampara de separación.

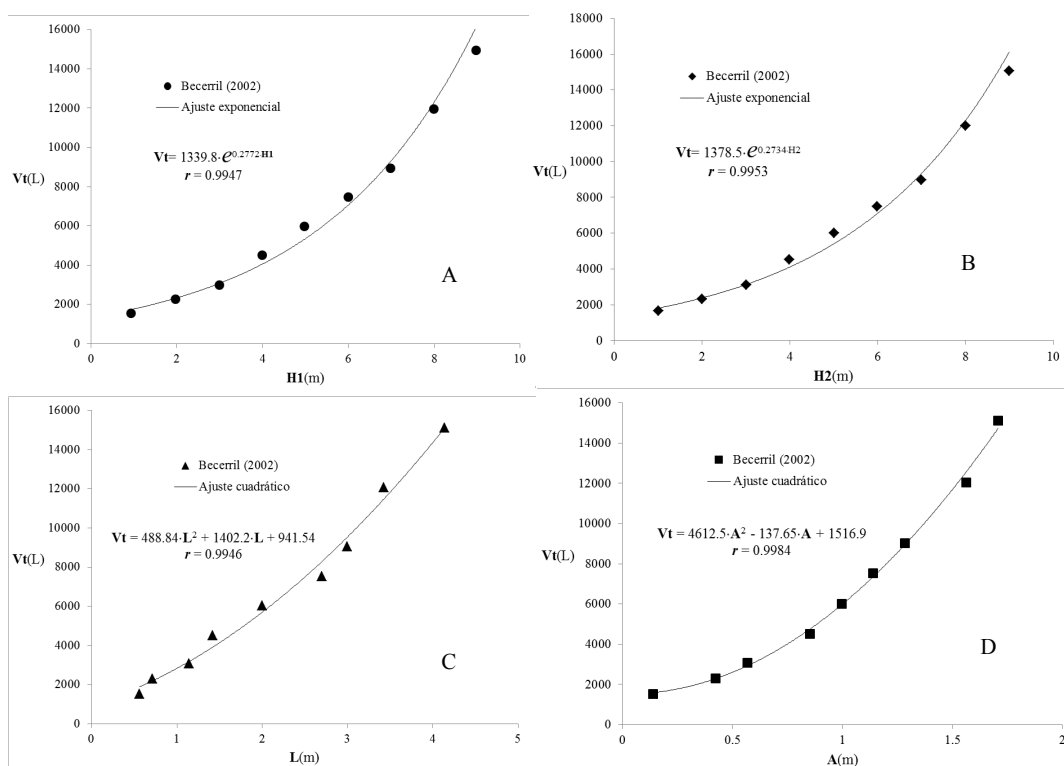


Fig. 1. Ajustes realizados por regresión no lineal a los datos de Becerril (2002), para determinar el cálculo de las dimensiones de la fosa séptica en base al volumen total de la fosa séptica (V_t en L). A) Tirante menor (H_1 , en m); B) Tirante mayor (H_2 , en m); C) Longitud (L , en m); D) Ancho (A , en m) de la fosa séptica.

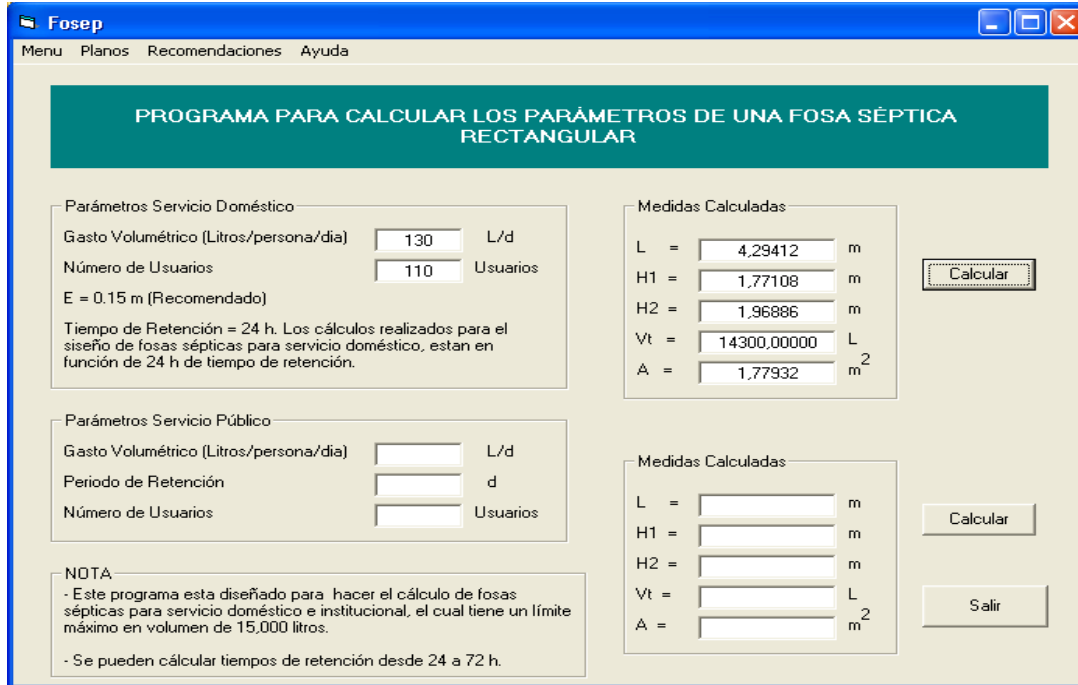


Fig. 2. Interfaz gráfica del software de fosa séptica FOSEP.

Para evaluar el funcionamiento del sistema, durante una semana se recolectaron cuatro muestras simples del agua a la entrada y a la salida de la fosa, según el procedimiento que describe la NMX-AA-003-1980- Aguas residuales.- Muestreo (DOF, 1980). En las muestras de agua se analizaron los siguientes parámetros: pH, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV) y coliformes fecales (NMP) de acuerdo a lo descrito en APHA, AWWA, WPCF (2005).

4 Resultados y discusión

4.1 Desarrollo de la aplicación FOSEP

Se resolvieron las ecs. (2)-(5) para obtener las ecs. (6)-(9) que permiten calcular las dimensiones de cada variable de diseño de la fosa séptica. Todas las variables de dimensionamiento, están en función únicamente del volumen total de la fosa séptica, las cuales se programaron en FOSEP. La Ec. (6) establece la relación entre el volumen total (V_t) y el tirante menor (H_1) lo que permite determinar la capacidad de trabajo útil de la fosa séptica en función del número de usuarios ($\geq 80\%$ de la capacidad total de la fosa

séptica).

$$H_1 = 3.6075 \ln\left(\frac{V_t}{1339.8}\right) \quad (6)$$

Por otra parte, la Ec. (7) calcula la magnitud del tirante mayor de la fosa séptica.

$$H_2 = 3.6576 \ln\left(\frac{V_t}{1378.5}\right) \quad (7)$$

La Ec. (8) permite el cálculo de la longitud de la fosa séptica a partir de su volumen total.

$$L = -1.434 + [0.00204V_t + 0.13025]^{1/2} \quad (8)$$

Para realizar el cálculo del ancho de la fosa séptica (A), se empleó la Ec. (9).

$$A = 0.014921 + [0.000217V_t - 0.32864]^{1/2} \quad (9)$$

De acuerdo con CEPIS (2009), la relación entre L y A que se recomienda como criterio para el diseño de fosas sépticas es $2 < L/A < 4$.

Una vez que el usuario introduce los valores de gasto volumétrico por persona y el número de usuarios en FOSEP (Fig. 2), el programa calcula el V_t y las dimensiones de cada variable empleando la Ec. (1). Posteriormente en cuatro ventanas activas se muestran los planos del programa de la fosa séptica con los valores de las variables de diseño (Fig. 3).

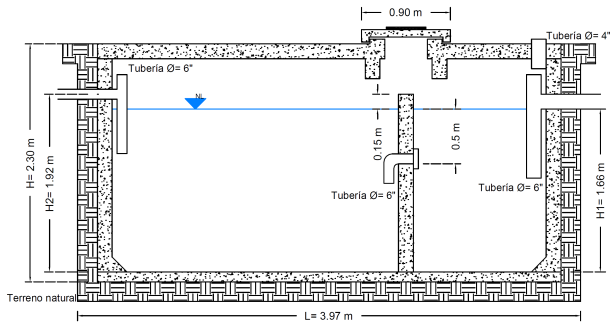


Fig.3. Planos de proyección de la fosa tipo rectangular.

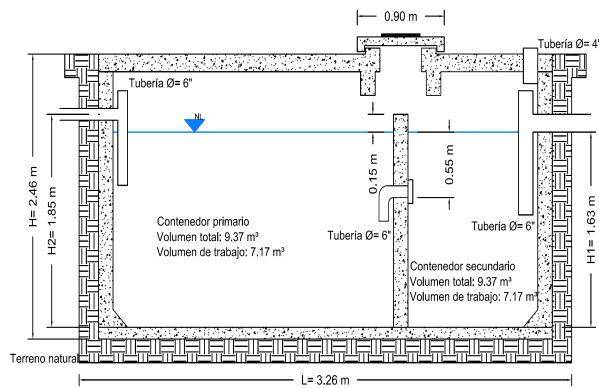
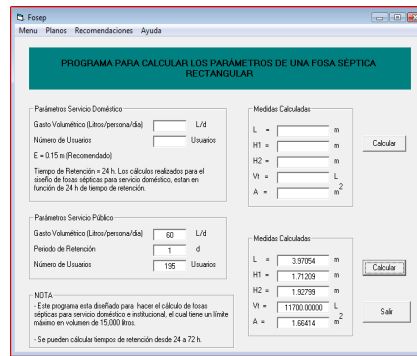
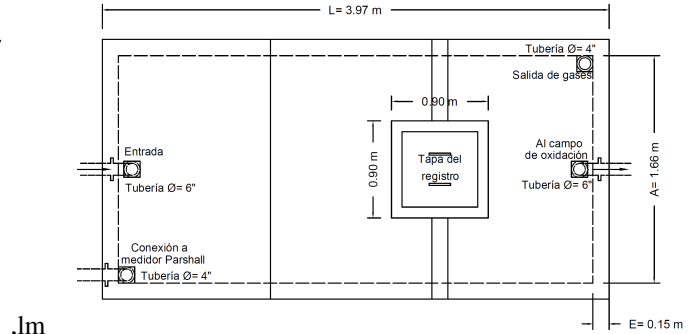


Fig. 4. A) Plano corte longitudinal de la fosa séptica, B) Cálculos para la evaluación de la fosa séptica con la aplicación FOSEP.



La aplicación informática FOSEP cuenta con cuatro ventanas activas con la función de mostrar información útil al usuario, tal como los planos de proyección de la fosa tipo rectangular, en los que se muestran las variables de diseño (L, H1, H2, A, Vt) (Fig. 3).

Estudio de caso. Aplicación de FOSEP en la evaluación del diseño de una fosa séptica en el estado de Hidalgo.

En las Figuras 4A y 4B se muestran los datos de las variables de diseño obtenidos durante la evaluación de la fosa séptica construida en la comunidad “El Alberto”. El Vt del sistema fue de 11.68 m³ (con un valor de H1 de 1.63 m, H2 de 1.85 m, A de 2.13 m y una L de 3.26 m), el cual corresponde a un gasto volumétrico de 60 L/día. Tomando en cuenta el Vt de la fosa séptica en estudio, se realizó el cálculo con la aplicación FOSEP y se obtuvieron los siguientes parámetros de diseño: H1 de 1.66 m, H2 de 1.92 m, A de 1.66 m y L de 3.97 m, para una fosa séptica con un THR de 1 día que puede dar servicio a 195 usuarios que generan 60 L/día. Al comparar las medidas de los parámetros de diseño obtenidos por la aplicación FOSEP, se observa que las medidas de los parámetros

de diseño H1, H2 y A son similares, entre el 2 y 10% de diferencia. Sin embargo en el parámetro L hay una diferencia del 18% superior a lo recomendado por FOSEP. El New York Department of Health (1996) recomienda que las fosas sépticas sean más largas y menos anchas para evitar el fenómeno de corto circuito en el movimiento del agua, lo que previene deficiencias en la sedimentación. Cabe mencionar que, de acuerdo a los datos recabados durante la visita de campo, el sistema fue diseñado para dar servicio a 60 usuarios, con aproximadamente 3 días de TRH. Por otra parte, la evaluación del funcionamiento del sistema mostró que la fosa séptica construida cumple con los límites máximos permisibles de los parámetros evaluados de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996 (DOF, 1997) (Tabla 1).

La alta eficiencia del sistema en la remoción de SST y SSV puede ser atribuida a otros factores, tales como el tiempo de operación (menos de un año), un menor número de usuarios, gasto volumétrico diario y la temperatura del sitio (> 18 °C). Aunque la remoción de materia orgánica en términos de DQO fue de

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos y biológicos obtenidos en la evaluación de la fosa séptica construida en la comunidad "El Alberto".

Muestra	pH	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	DQO (mg/L)	Coliformes fecales (NMP)	
Afluente	7.6	325	275	488.3	1800 ¹	5000 ²
Efluente	8	50	50	308.3	340	930
% remoción	-	76.92	81.81	36.86	81%	

¹valor bajo, ²valor alto de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996.

36.86%, este valor se encuentra dentro del rango de eliminación en un sistema de fosas sépticas, que va de 30 a 60% (Seoánez-Calvo, 2005).

La eliminación de coliformes fecales en términos de NMP fue del 81%. Este porcentaje es alto de acuerdo a los criterios citados por Seabloom y col., (1982) quienes mencionan que estos sistemas con un TRH de 1 día presentan eliminación del coliformes fecales entre un 25 a 68%. Para la eliminación de un 90% de patógenos en sistemas de fosas sépticas, se recomienda utilizar tiempos de retención mayores a 72 h (USEPA, 1980; Crites y Tchobanoglous, 1998).

Conclusiones

La aplicación FOSEP, mediante una estructura de interfaz gráfica, permite llevar a cabo con mayor precisión y rapidez el dimensionamiento de tanques sépticos para zonas urbanas o rurales con un volumen de hasta 15 000 L, en contraposición al empleo tradicional de tablas. Lo anterior permite al usuario una mejor comprensión del funcionamiento de estos procesos en el tratamiento de aguas residuales, y hace posible que su uso se extienda hacia las numerosas comunidades que en México aún carecen de un sistema de alcantarillado municipal.

La fosa séptica evaluada en el Municipio de "El Alberto" no cumple con las dimensiones recomendadas por la herramienta FOSEP para tratar el agua residual que se genera. Sin embargo, la evaluación de parámetros fisicoquímicos demostró que el sistema opera de manera eficiente y cumple con los parámetros de descarga que marca la normatividad mexicana.

Nomenclatura

- A ancho de la fosa séptica, m
- H1 tirante menor, capacidad de trabajo de la fosa séptica, m
- H2 tirante mayor de la fosa séptica, m

- L longitud de la fosa séptica, m
- Vt volumen total de la fosa séptica, L
- FOSEP nombre de la aplicación para el diseño de fosa séptica rectangular
- DQO demanda química de oxígeno, mg L⁻¹
- SST sólidos suspendidos totales, mg L⁻¹
- SSV sólidos suspendidos volátiles, mg L⁻¹
- TRH tiempo de retención hidráulico, días

Referencias

- Alth, M. y Alth, C. (1992). *Wells and Septic Systems*. McGraw Hill. 2nd Edition. New York, USA.
- APHA, AWWA, WCF. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Editorial American Public Health Association. Pp. 476- 481. Washington.
- Arundel, J. (2000). *Tratamiento de Aguas Negras y Efluentes Industriales*. Acribia Zaragoza, España. 183-209.
- Atenodoro-Alonso, J., Ruíz-Espinoza J.E., Alvarado-Lassman A., Martínez-Sibaja A., Martínez-Delgadillo S.A., Méndez-Contreras J.M. (2015). The enhanced anaerobic degradability and kinetic parameters of pathogenic inactivation of wastewater sludge using pre- and Post-thermal treatments part 2. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 14, 311-319.
- Becerril, L.D.O. (2002). *Datos Prácticos de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias*. E.S.I.M.E.-I.P.N., 9ª Edición. México.
- Bitton, G. (2005). *Wastewater Microbiology*. Wiley-Liss. 3rd Edition. New Jersey E.U.A. 360-362.
- Bounds, T.R. (1997). *Design and Performance of Septic Tanks. Site characterization and design of onsite septic systems ASTM STP 901*. M.S. Bedinger, A.I. Johnson, and J.S. Fleming,

- Eds. American Society for Testing Materials, Philadelphia.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS) (2009). Rellenos sanitarios y tratamiento de residuos líquidos de mataderos municipales. Disponible en: <http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/resisoli/rellenos/capit6.html>.
- Collado-Lara, R. (1992). *Depuración de Aguas Residuales en Pequeñas Comunidades*. Primera edición. Colegio de ingenieros de caminos y puertos. Madrid, España. Vol. 12. 9-32.
- Comisión Nacional del Agua (CNA) (2012). *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Primera Edición.
- Cotteral, J.A., Norris, D.P. (1969). Septic tank systems. *Journal of the Environmental Engineering Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers* 95, 715-746.
- Crites, R., Tchobanoglous, G. (1998). *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*. McGraw-Hill. 1st Edition. New York, USA.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (1999). Norma Oficial Mexicana Nom-006-CNA-1997. Fosas sépticas prefabricadas-Especificaciones y métodos de prueba.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (1980). Norma oficial Mexicana NMX-AA-003-1980. Aguas Residuales-Muestreo.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (1997). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- Faweet, G., Stein, M. (1991). *Manual de las Instalaciones en los Edificios*. Tratamiento de las aguas residuales. Gil Editores, México D.F., 95-100.
- Febles-Patrón, J.L., Hoogesteijn, A. (2008). Análisis del Marco Legal para la Protección del Agua Subterránea en Mérida, Yucatán. *Ingeniería*. 12(3). 71-79.
- Méndez-Novelo, R.A., Gijón-Yescas, A., Quintal-Franco, C., Osorio-Rodríguez, H. (2007). Determinación de la tasa de acumulación de lodos en fosas sépticas de la ciudad de Mérida, Yucatán. *Ingeniería Revista Académica* 11, 55-64.
- Microsoft Corporation (1998). *Microsoft visual basic 6.0, Manual del Programador*. 1ra edición. McGraw-Hill, Madrid, España.
- New York Department of Health (NYSDH) (1996). *Individual residential wastewater treatment systems: Design handbook*. Division of environmental protection. 2-4, 12-16.
- Reynolds, K.A. (2002). Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica, identificación del problema. Agua Latinoamericana. Disponible en: <http://www-esd.worldbank.org>; <http://vbln0018.worldbank.org/external/lac/lac.nsf>.
- Seabloom, R.W., Carlson, D.A., Engeset, J. (1982). Septic Tank Performance, Compartmentation, Efficiency and Stressing. *Proceedings from 4th Northwest On-site Waste Water Disposal Short Course - Implementation of New and Old Technologies*, University of Washington, Seattle, Washington.
- Seoáñez-Calvo, M. (2005). *Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo consumo*. Ed. Mundi-Prensa. España.
- SEMARNAT y CNA (2014). Situación del subsector agua potable, drenaje y saneamiento. Disponible en: <http://www.agua.org.mx/index.php/biblioteca-tematica/estadisticas/36895-situacion-del-subsector-agua-potable-drenaje-y-saneamiento-edicion-2014>
- Steel, E.W., McGhec, T.J. (1979). *Problemas del tratamiento de aguas residuales domésticas en: Abastecimiento de agua y alcantarillado*. McGraw-Hill. México D.F., 604-609.
- Stewart, E. (2005). *Evaluation of septic tank and subsurface flow wetland for Jamaican public school wastewater treatment*. Thesis degree of Master of Science in environmental engineering Michigan Technological University.

- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4th edition. Metcalf and Eddy Inc./McGraw-Hill, Inc, New York, USA.
- Tilley, E., Lüthi, C., Morel, A., Zurbrügg, C., Schertenleib, R. (2008). *Compendium of Sanitation System and Technologies*. Eawag-Sandec, Water supply and sanitation. Collaborative Council. ISBN: 978-3-906484-44-0.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1980). *Design Manual: Onsite Wastewater Treatment and Disposal Systems*, Report. No. 625/1-80-012, Office of Water, Washington, D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1984). *Septage treatment and Disposal Handbook*. EPA 625/6-84-009, Municipal Environmental Research Laboratory, Center for Environmental Research Information. Cincinnati, Ohio 45268. 27.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (2000). *Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters, Handbook*. EPA 625/R-99/010, Office of Research and Development, Cincinnati, OH.
- Unda, O.F. (1993). Problemas sanitarios creados por la descarga de aguas servidas y efectos en los cursos de agua receptores. En: *Ingeniería Sanitaria Aplicada a Saneamiento y Salud Pública*. LIMUSA, México D.F. 389-414.
- Villegas, S.D. (s.f.). Serie autodidáctica en material de normas técnicas relacionadas con inspección y verificación. *Unidad didáctica para la aplicación de la NOM-006-CAN-1997, fosas sépticas prefabricadas*. Especificaciones y métodos de prueba. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. ISBN 968-5536-17-1.