



Dimensionamiento mínimo de sedimentadores primarios anaeróbicos en áreas rurales en Panamá y las causas de fallas en el tratamiento de aguas domésticas

Minimum sizing of anaerobic primary settler tanks in rural areas in Panama and the causes of failures in domestic water treatment

Irving Isaac Isaza Santos¹, Betzi Alibeth Ojo Ojo², Yulianis Julieth Rodríguez Pérez³, Miriangi Marysel Cortés Gutiérrez⁴

¹ Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería, Panamá. irving.isaza@up.ac.pa
<https://orcid.org/0000-0002-4029-0992>

² Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería, Panamá. betzi.ojo@up.ac.pa
<https://orcid.org/0009-0009-5259-2347>

³ Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería, Panamá. yulianis.rodriguez@up.ac.pa
<https://orcid.org/0009-0005-7291-237X>

⁴ Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería, Panamá. mariangi.cortes@up.ac.pa
<https://orcid.org/0009-0009-7088-807X>

Recibido: 28 de diciembre de 2024

Aceptado: 9 de julio de 2025

DOI <https://doi.org/10.48204/j.colonciencias.v12n2.a7999>

Resumen

Este estudio se centra en el dimensionamiento de sistemas primarios anaeróbicos como método primario de tratamiento de aguas residuales domésticas en áreas sin acceso a sistemas de alcantarillado. Se exploran los principios de funcionamiento de los mismos, su eficiencia en la remoción de contaminantes, así como los desafíos asociados a su operación y mantenimiento. Adicionalmente, se evalúan los impactos ambientales de estos sistemas en el suelo y las aguas subterráneas. Los resultados obtenidos permiten identificar las limitaciones en tamaño ya que para

una familia mínima de 5 personas requiere de 3.75 m² de área sin contar con el espacio del tratamiento secundario (zanja de percolación o pozo de absorción), el dimensionamiento cuenta con dos cámaras de sedimentación la primera que recolecta 2/3 de los sólidos suspendidos y la segunda 1/3 de los sólidos suspendidos por lo que este sistema se puede recomendar para mejorar sus efectos negativos en el medio ambiente.

Palabras clave: Tratamiento anaeróbico; aguas residuales; sedimentador primario; alcantarillado; medioambiente.

Abstract

This study focuses on the sizing of primary anaerobic systems as a primary method of domestic wastewater treatment in areas without access to sewage systems. The study explores their operating principles, their efficiency in removing contaminants, and the challenges associated with their operation and maintenance. Additionally, the environmental impacts of these systems on soil and groundwater are evaluated. The results obtained allow us to identify the size limitations, since for a minimum family of 5 people, it requires 3.75 m² of area without taking into account the space for secondary treatment (percolation trench or absorption well). The sizing includes two sedimentation chambers: the first collects two-thirds of the suspended solids and the second, one-third of the suspended solids. Therefore, this system can be recommended to improve their negative effects on the environment.

Keywords: Anaerobic treatment; wastewater; primary sedimentation tank; sewage system; environment.

Introducción

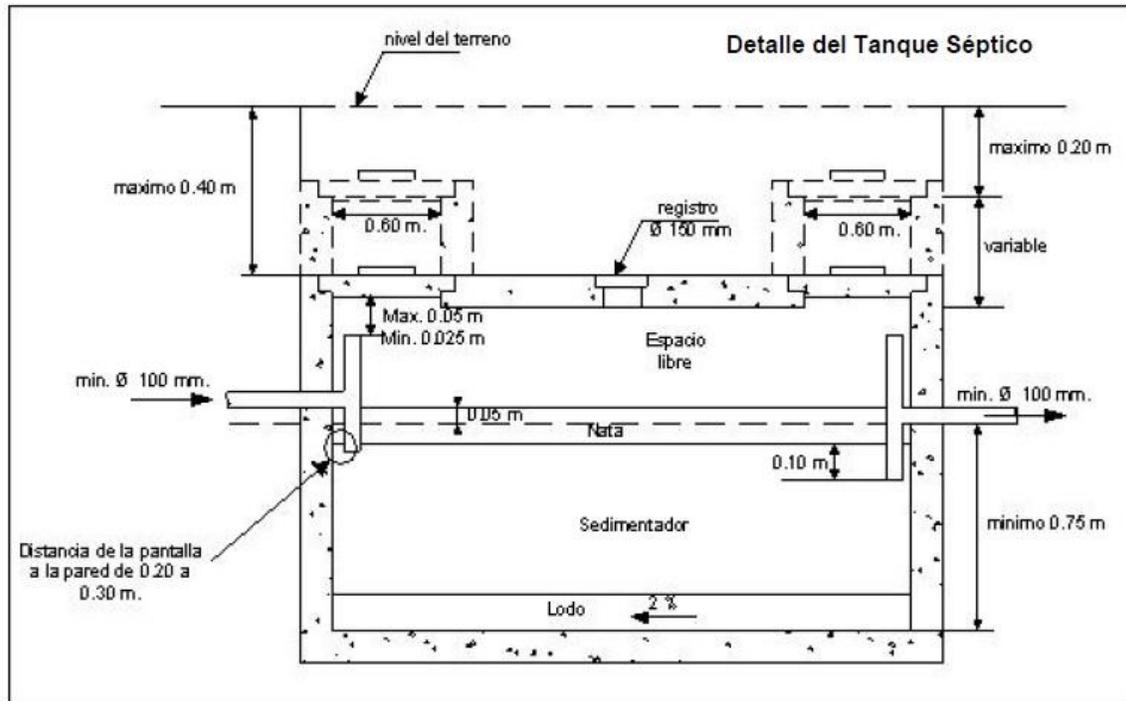
Si bien en Panamá el tratamiento de aguas residuales domésticas como es sabido, es un tema de gran importancia, en áreas donde no existe acceso a sistemas de alcantarillados que es muy frecuente en áreas rurales (Valdez y Vásquez, 2003). En estos casos, los sedimentadores primarios anaeróbicos se convierten en la solución más frecuentes para poder tratar las aguas residuales (Isaza, González y Gómez, 2021). En nuestro país la población total es de 4,202,572 personas; de este total, aproximadamente 1,036,870 personas residen en áreas rurales. Este número representa alrededor del 24.7% de la población total del país (Instituto Nacional de Estadística y Censo, 2021).

Los sedimentadores primarios se utilizarán por lo común para el tratamiento de las aguas residuales de familias que habitan en localidades que no cuentan con servicios de alcantarillado o que la conexión al sistema de alcantarillado les resulta costosa por su lejanía (Tilley et al, 2018). El uso de estos sistemas en Panamá es muy usual en localidades rurales, urbanas y urbano marginales. Las aguas residuales domésticas pueden proceder exclusivamente de las letrinas con arrastre hidráulico o incluir también las aguas grises domésticas (generadas en duchas, lavaderos, etc.) (OPS, 2005a).

Los sedimentadores primarios anaeróbicos son sistemas que han sido usado desde hace más de un siglo para el tratamiento de las aguas residuales. Por su efectividad y sencillez de operación ha sido extensamente empleado a lo largo de la geografía mundial en diferentes condiciones climáticas, y aún permanece siendo uno de los baluartes en el tratamiento de aguas residuales (Coronado, 2022). De igual forma son estructuras de forma rectangular, cilíndrica, cónica o piramidal que permite al agua residual permanecer dentro de él por un tiempo adecuado, y fluir a una velocidad baja que logre que gran porcentaje del material particulado de mayor densidad que el agua (más pesado) sedimente, y que las grasas y otros componentes menos densos que el agua (más livianos), suban a la superficie generando una nata en la parte superior (Ibíd), tal como se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Diseño de un sedimentador primario anaeróbico



Fuente: Organización Panamericana de la Salud (2005a).

Uno de los principales objetivos del diseño del tanque séptico es crear dentro de este una situación de estabilidad hidráulica, que permita la sedimentación por gravedad de las partículas pesadas (Ministerio de Comercio e Industrias, 1999). El material sedimentado forma en la parte inferior del tanque séptico una capa de lodo, que debe extraerse periódicamente. Como el efluente de los tanques sépticos es anaerobio y contiene probablemente un elevado número de agentes patógenos, que son una fuente potencial de infección, no debe usarse para regar cultivos ni descargarse canales o aguas superficiales sin permiso de la autoridad sanitaria de acuerdo con el

reglamento nacional vigente (Ministerio de Comercio e Industrias, 2000). La Tabla 1 plantea las ventajas y desventajas de los sedimentadores primarios.

Tabla 1.

Ventajas y desventajas de los sedimentadores primarios

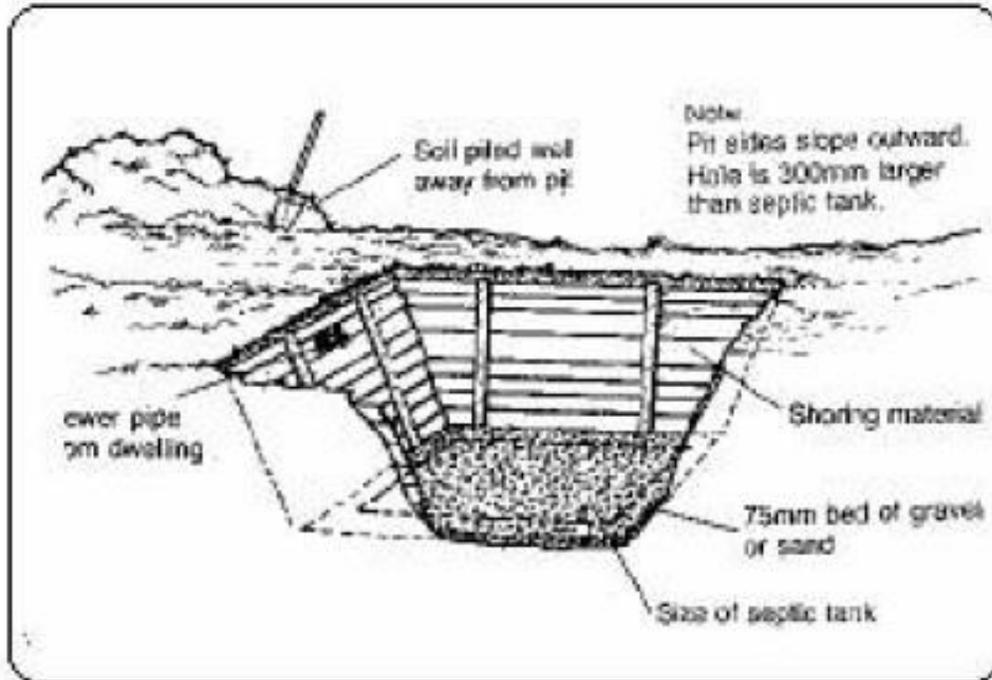
Tanque Séptico	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Apropriado para comunidades rurales, edificaciones, condominios, hospitales, etc.• Su limpieza no es frecuente.• Tiene un bajo costo de construcción y operación.• Mínimo grado de dificultad en operación y mantenimiento si se cuenta con infraestructura de remoción de lodos.	<ul style="list-style-type: none">• De uso limitado para un máximo de 350 habitantes.• También de uso limitado a la capacidad de infiltración del terreno que permita disponer adecuadamente los efluentes en el suelo.• Requiere facilidades para la remoción de lodos (bombas, camiones con bombas de vacío, etc.).

Fuente: Organización Panamericana de la Salud (2005a).

La Figura 2 presenta un diseño técnico de la excavación de un hoyo para el sedimentador primario donde se debe tener en cuenta la parte exterior de los lados y lo trabajos alrededor de éstos, que serán por lo menos a 300 mm. Si el hoyo tiene más de 1,5 m de profundidad, hay que empezar a poner refuerzo en los lados (apuntalamiento) para evitar algún accidente (OPS, 2005b).

Figura 2.

Excavación del hoyo para el sedimentador primario

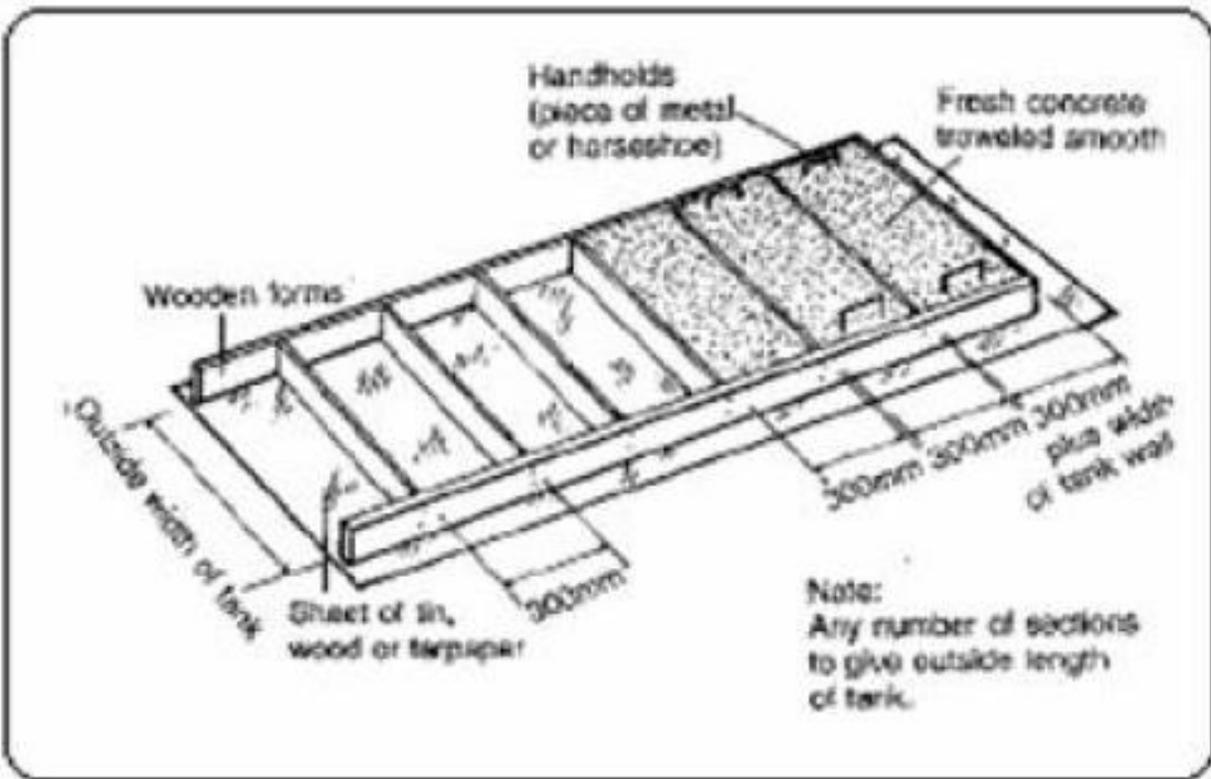


Fuente: Organización Panamericana de la Salud (2005b).

Para un tanque de concreto reforzado, se debe armar los encofrados para el fondo del tanque. Se colocarán en el fondo del hoyo acorde con las dimensiones (largo, ancho y grosor) del plano. Las formas deberán estar alineadas con la tubería de alcantarillado y corresponder revisar la distancia abajo desde la línea de alcantarillado hasta la tapa del encofrado, tal como muestra la Figura 3.

Figura 3.

Encofrado para el vaciado de concreto en el sedimentador primario

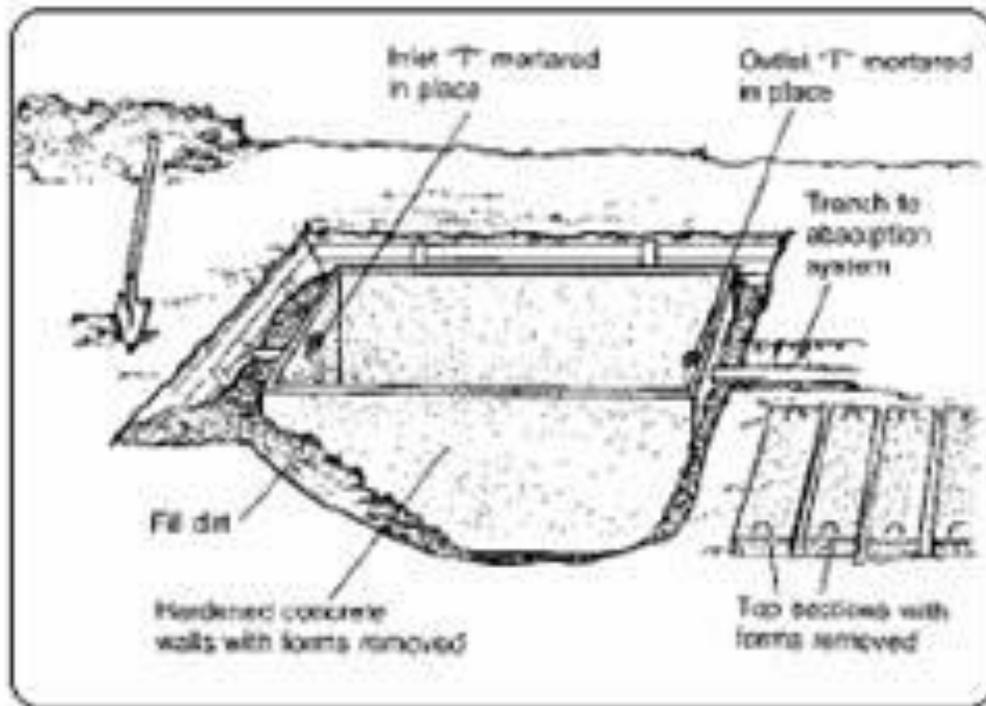


Fuente: Organización Panamericana de la Salud (2005b).

Para el sellado del sedimentador primario, se debe determinar si el tanque estará cubierto con tierra. No se debe cubrir el tanque si no será inspeccionado por lo menos una vez al año. Por el contrario, se deberá cubrir el tanque si este fuera dañado o abierto por personas no autorizadas. La Figura 4 muestra cómo se estructura el área y las fases para el tratamiento secundario.

Figura 4.

Área del sedimentador primario y el tratamiento secundario

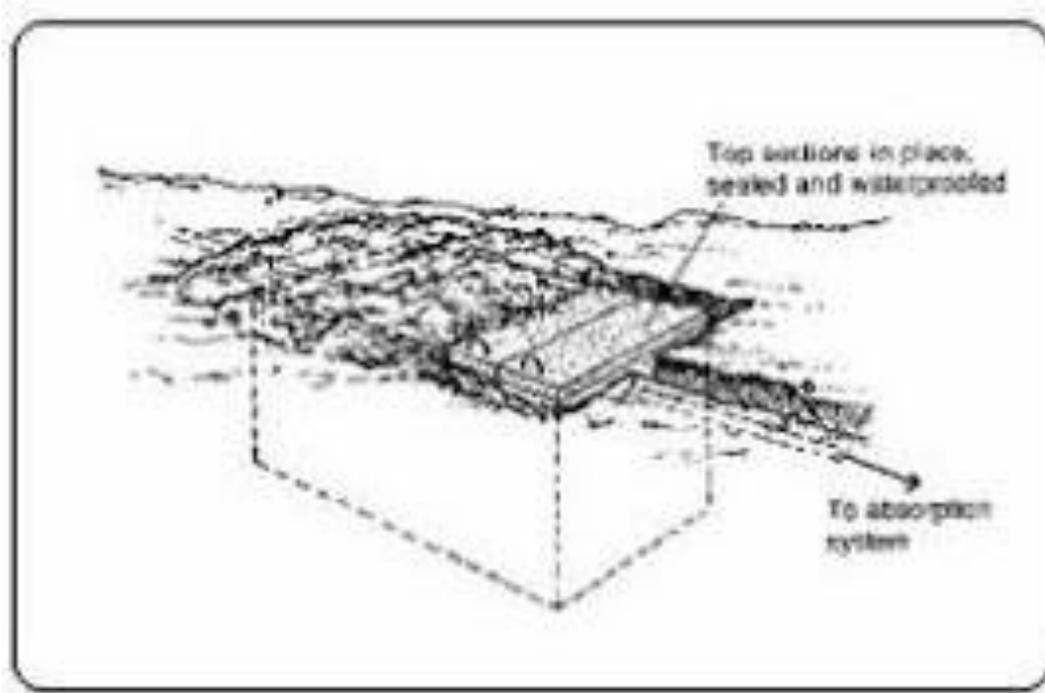


Fuente: Organización Panamericana de la Salud (2005b)

Al finalizar, se deberá cubrir el tanque con bastante tierra para prevenir el agua superficial, para evitar la formación de charcos o que se empoce el agua. La Figura 5 presenta los aspectos de sellado y protección del sedimentador primario.

Figura 5.

Sellado y protección del sedimentador primario



Fuente: Organización Panamericana de la Salud (2005b)

Metodología

Para iniciar esta investigación sobre el dimensionamiento mínimo de un sedimentador primario en áreas rurales con sistema secundario (zanja de percolación) en Panamá, se dimensionará el sistema utilizando el valor de densidad que se encuentra en el Manual del Instituto de Alcantarillado y Acueductos Nacionales (I.D.A.A.N., 2006), el cual recomienda este diseño para una población de 5 personas/vivienda incluidas niños y adultos. Luego, se considera un consumo per cápita de agua cuyo valor es de 80 galones/habitantes-día para áreas rurales según dicho manual.

Estas dos variables fungirán como elementos dentro de la metodología de dimensionamiento del Manual de la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2005b) que considera una relación larga/ancho = 3:1, una profundidad de agua 1.75 m, un tiempo de retención de 2 días, tiempo de limpieza 8 años, $V_{natas} = 0.7 \text{ m}^3$, para el dimensionamiento del sedimentador basado en dos cámaras, tal como muestra la Tabla 2, donde las características del agua son de tipo doméstica dado un diseño de tipo residencial.

Tabla 2.

Parámetros para evaluar el diseño de un sedimentador primario

Variables	Tanque séptico
Habitantes	5 habitantes
Tiempo de retención	2 días
Contribución de aguas servidas	80 gal/hab*día
Tiempo de limpieza	8 años
Relación largo/ancho	3:1
Profundidad de agua	1.75 m
Volumen de natas	0.7 m ³

Mientras tanto, según la OPS (2005b) señala que los parámetros para el diseño de un sedimentador primario (tanque séptico) son los siguientes:

- Prever un tiempo de retención de las aguas servidas, en el tanque séptico, suficiente para la separación de los sólidos y la estabilización de los líquidos.
- Prever condiciones de estabilidad hidráulica para una eficiente sedimentación y flotación de sólidos.
- Hay que asegurar que el tanque sea lo bastante grande para la acumulación de los lodos y espuma.
- Prevenir las obstrucciones y asegurar la adecuada ventilación de los gases.

Resultados

Al revisar los parámetros establecidos para una población de 5 personas/vivienda, se pueden observar todos los valores que se obtuvieron después de realizar los cálculos, los cuales se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3.

Resultados del dimensionamiento del sedimentador

Tanque séptico	
Caudal de diseño de agua residuales	1514 litros/día – 1.514 m ³ /día
Volumen del sedimentador	3.03 m ³
volumen de digestión y almacenamiento de lodos	2.8 m ³
Volumen total	6.53 m ³
Volumen del Paralelepípedo	
Cámara 1	2.23 m
Cámara 2	1.12 m
Ancho	1.12 m
Profundidad total	1.75 m

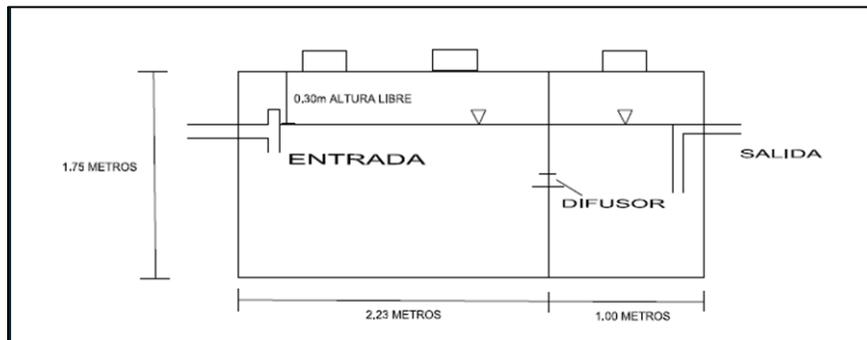
El caudal de diseño de aguas residuales calculado fue de 1514 litros por día, equivalentes a 1.514 m³ por día, descontando un volumen de natas de 0.7 m³ por día. Este caudal se utilizó para determinar las demás dimensiones del tanque. Otro dato relevante es que el volumen del sedimentador resultó ser de 3.03 m³, siendo esta es la capacidad necesaria para que ocurra adecuadamente la sedimentación de las partículas sólidas en el agua residual.

Así mismo, se estableció que el volumen de digestión y almacenamiento de lodos debe ser de 2.8 m^3 . Este espacio permitirá la digestión biológica y almacenamiento temporal de los lodos dentro del tanque. De igual forma, la tabla muestra que el volumen total requerido para el tanque séptico es de 6.53 m^3 . Este cumple con proporcionar capacidad para los procesos de sedimentación y digestión según la población.

Con base a las especificaciones del caso, la Figura 5 muestra el diseño propuesto para un sedimentador primario señalando acotaciones, accesorios y dimensiones.

Figura 6.

Diseño del Sedimentador Primario

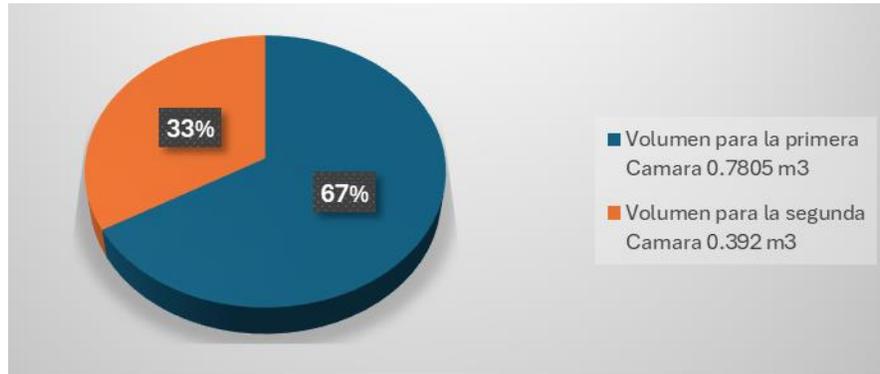


Se indican que las dimensiones de cada una de las cámaras que componen el tanque, donde la cámara 1 de 2.23 m y la cámara 2 de 1.12 m, a su vez que la profundidad total del tanque será de 1.75 m para satisfacer los requerimientos de diseño. Estas medidas permiten desagregar los volúmenes para el sedimentador y para la digestión y almacenamiento de lodos, los cuales se calculó en 52% y 48%, respectivamente.

Por el otro lado, las estimaciones del volumen de concreto requerido para el sedimentador, considerando 0.20m de espesor y 1.75m de profundidad, se establecen en la Figura 7.

Figura 7.

Volumen de concreto requerido para el sedimentador



Se realizó un análisis de los costos, entre materiales y mano de obra, requerido para la construcción del sedimentador primario. La Tabla 4 muestra el detalle del costo por metro cúbico de muro que se requiere para la construcción del sedimentador en este proyecto y cuyo costo total totalizó B/.293.13. Este costo total está distribuido entre un 60% para materiales y 40% correspondiente al costo de mano de obra.

Tabla 5.

Costo de Material Requerido en Concreto por Muro para el Sedimentador Primario

Detalle	Cantidad	Costo de Material	Costo Total de Material	Costo de Mano de Obra	Costo Total de Mano de Obra
Volumen para la primera Cámara 0.7805 m ³	0.7805	B/.150.00	B/.117.08	B/.100.00	B/.78.05
Volumen para la segunda Cámara 0.392 m ³	0.392	B/.150.00	B/.58.80	B/.100.00	B/.39.20
			B/.175.88		B/.117.25
Gran total					B/. 293.13

La distribución interna en cámaras y volúmenes asignados cumple con proveer las condiciones para que se lleven a cabo los procesos físicos, químicos y biológicos de forma eficiente, logrando los objetivos de sedimentación, retención y tratamiento biológico esperados. Por consiguiente, la ejecución con estas especificaciones minimizaría los riesgos de fallos en el funcionamiento o sobrecarga del sistema.

Este último objetivo se alcanzará con el cumplimiento del diseño detallado e implementación real del proyecto, siempre y cuando se complemente con aspectos constructivos, de monitoreo y operación y requiere validación del desempeño una vez instalado, a través de indicadores de calidad del efluente.

Conclusiones

El dimensionamiento presentado cumple con las especificaciones técnicas a nivel nacional y de la Organización Panamericana de la Salud para sistemas de tratamiento de aguas residuales a pequeña escala brindando confiabilidad técnica al diseño propuesto. Al ajustarse a los parámetros de entrada como número de habitantes, caudal y tiempo de retención, se garantiza que el tanque tendrá la capacidad necesaria para tratar el flujo de aguas servidas proyectado de manera sostenible en el tiempo.

La eficiencia de estos sistemas como método de tratamiento de aguas residuales domésticas en sistemas aislados, específicamente en áreas rurales de Panamá que no cuentan con acceso a alcantarillado sanitario, resultan de gran beneficio cuando los periodos de limpieza son razonables para el dimensionamiento del volumen de lodos acumulados ya que ocupa el 52% del volumen al cumplir 8 años de funcionamiento.

Los resultados obtenidos permitieron establecer que el funcionamiento del sedimentador cuenta con la capacidad necesaria para tratar el caudal de aguas servidas proyectado de forma sostenible en el tiempo con un periodo de retención de 2 días. Sus dimensiones, volúmenes y

distribución cumplen con proveer las condiciones óptimas para los procesos de sedimentación, retención y digestión biológica.

Finalmente, en cuanto a sus costos, el elemento constructivo más significativo es el concreto que representan el 60% de los costos totales de la obra y corresponde a la elaboración de los muros y losa de piso, mientras que el 40% restante correspondería a los costos de mano de obra.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés en la redacción de este artículo.

Referencias bibliográficas

Coronado, O. D. G. (2022). *¿Qué es un tanque séptico y cómo funciona?* <https://es.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-es-un-tanque-s%C3%A9ptico-y-como-funciona-guti%C3%A9rez-coronado>

Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales – IDAAN. (2006). *Normas Técnicas para Aprobación de Planos de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios*.

Instituto Nacional de Estadística y Censo - INEC. (2021). *XI Censo de Población y VII de Vivienda de Panamá: Año 2010*. Recuperado el 06 de agosto de 2021. https://www.inec.gob.pa/publicaciones/Default3.aspx?ID_PUBLICACION=360&ID_CATEGORIA=13&ID_SUBCATEGORIA=59

Isaza, I., González, F. y Gómez, Y. (2021). Comparación de dos sistemas de tratamiento anaeróbicos de aguas residuales de características homogéneas para escuelas sin sistema de tratamiento. *Revista Científica Centros*, 10 (1),54-67. <https://revistas.up.ac.pa/index.php/centros/article/view/1949>

Ministerio de Comercio e Industrias. (1999). *Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 24-99: Agua, Calidad de Aguay Reutilización de las Aguas Residuales Tratadas*. Dirección General de Normas y Tecnología Industrial, MICI.



- Ministerio de Comercio e Industrias.. (2000). *Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 39-2000: Descarga de Efluentes Líquidos directamente a Sistemas de Recolección de Aguas Residuales*. Ministerio de Comercio e Industrias Dirección General de Normas y Tecnología Industrial, MICI.
- Organización Panamericana de la Salud (2005a). *Guía para el Diseño de Tanques Sépticos, Tanques IMHOFF y Lagunas de Estabilización*. Perú, Lima
- Organización Panamericana de la Salud. (2005b). *Especificaciones Técnicas para la Construcción de Tanques Sépticos, Tanques IMHOFF y Lagunas de Estabilización*. Perú, Lima
- Sawyer, R. (2006). *Taller sobre Sistemas Rurales en Girardot*. ECOSAN
- Tilley, E., Ulrich, I., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., y Zurbrügg, C. (2018). *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento*. Dübendorf (Suiza): Instituto Federal Suizo para la Ciencia y la Tecnología Acuática (EAWAG), 2da Edición revisada.
- Valdez, E. y Vásquez, A. (2003). *Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales*, Fundación ICA. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/ingenieria_de_los_sistemas_de_tratamiento_y_disposicion_de_aguas_residuales_civilgeeks.pdf