



INICIACIÓN CIENTÍFICA

Comparación de dos sistemas de tratamientos anaerobios de aguas residuales de características homogéneas para escuelas ubicadas en áreas rurales con sistema de tratamiento preliminar

Comparison of two anaerobic treatment systems of wastewater with homogeneous characteristics for schools located in rural areas with preliminary treatment systems

Irving Isaac Isaza Santos¹, Juliana Vallejo Bocanegra², Justo De La Cruz³

¹ Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Panamá. irving.isaza@up.ac.pa. ORCID: 0000-0002-4029-0992

² Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería en Edificaciones, Panamá. juliana.vallejo@up.ac.pa. ORCID: 0000-0002-1163-9956

³ Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería en Edificaciones, Panamá. justo.delacruz@up.ac.pa. ORCID: 0000-0003-0150-8909

Resumen

En la República de Panamá existen muchos colegios que se encuentran en áreas rurales en los cuales no se cuenta con sistemas de alcantarillado municipal. Muchos contratistas de proyectos toman como referencia el sistema de tanque séptico como el sistema primario más versátil en cuanto a manejo de plantas de tratamiento de aguas residuales. Este estudio presenta una modelación comparativa entre un sistema de tratamiento de Tanque Imhoff y el sistema de reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodo para escuelas. Los resultados establecen que el segundo sistema de tratamiento es económicamente más eficiente teniendo una ventaja del 48% en cuanto a costo de construcción por metro cuadrado, un 2% menos que el primer sistema (Tanque Imhoff), y una ventaja como sistema anaerobio en la remoción de sólidos con un 76.7% (87.11 mg/L) de capacidad.

Palabras clave: Tratamiento de aguas residuales; afluentes; reactor UASB; tratamiento anaeróbico; tanque Imhoff.

Abstract

In the Republic of Panama there are many schools located in rural areas where there are no municipal sewage systems. Many project contractors take as a reference the septic tank system as the most versatile primary system in terms of wastewater treatment plant management. This study presents a comparative modeling between an Imhoff Tank treatment system and the Upflow Anaerobic Sludge Blanket Sludge Reactor system for schools. Results indicates that the second treatment system is more economically efficient having an advantage of 48% in terms of construction cost per square meter, 2% less than the first system (Imhoff Tank) and an advantage as an anaerobic system in the removal of solids with 76.7% (87.11 mg/L) of capacity.

Keywords: Waterwaste treatment; tributaries; UASB reactor; anaerobic treatment; Imhoff Tank.

Introducción

Ciertas localidades rurales dentro de la República de Panamá cuentan con poblaciones no mayores a 2,692 habitantes según estadísticas basadas en el último censo nacional del año 2010. (Instituto Nacional de Estadística y Censo, 2010)

Si bien es cierto que en diversos proyectos de construcción y mantenimiento de colegios y centros educativos a nivel superior es común que los tratamientos de aguas sean prácticamente del mismo tipo en muchas de las especificaciones técnicas a los trabajos a realizar, estos carecen de opciones anaerobias. Para ello se realiza esta investigación comparativa para promover otras opciones en el manejo de las aguas residuales con características domesticas a beneficio de estas comunidades, y para ello se opta por estudiar en este caso un centro escuela básico general (C.E.B.G.) que en la actualidad cuenta con 13 salones, una población estimada de 600 personas y una extensión de escolaridad primaria y pre-media.

Para cumplir con dichos requerimientos, se realiza la comparativa de dos sistemas de tratamiento de aguas residuales anaerobios como lo son el Tanque Imhoff y el Reactor U.A.S.B. (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*, por sus siglas en inglés), en los cuales se da un proceso microbiológico complejo que se realiza en ausencia de oxígeno, donde la materia orgánica es transformada a biomasa y compuestos orgánicos, la mayoría de ellos volátiles. Aunque es un proceso natural, sólo en los últimos veinticinco años ha llegado a ser una tecnología competitiva en comparación con otras alternativas. Esto ha sido posible gracias a la implementación de sistemas que separan el tiempo de retención hidráulico (TRH), del tiempo de retención celular (TRC) los cuales han sido denominados reactores de alta tasa. Durante este proceso también se obtiene un gas combustible (biogás) y lodos con propiedades adecuadas para ser usados como bioabonos (Bermúdez, Rodríguez, Martínez & Terry, 2003).

Ambos sistemas poseen diferentes ventajas y desventajas (OPS, 2005; Gandarillas, Saavedra, Escalera & Montoya, 2017), las cuales son presentadas en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1

Ventajas en el Tanque Imhoff y Reactor U.A.S.B.

Tanque Imhoff	Reactor U.A.S.B.
Contribuye a la digestión de lodo, mejor que en un tanque séptico, produciendo un líquido residual de mejores características. No descargan lodo en el líquido efluente, salvo en casos excepcionales. El lodo se seca y se evacúa con más facilidad que el procedente de los tanques sépticos, esto se debe a que contiene de 90 a 95% de humedad.	Es un proceso generador de energía (productor de CH ₄), en lugar de un consumidor energético, como la mayoría de los procesos de depuración de aguas residuales. No requiere de ningún tipo de soporte para la retención de biomasa, ni agitación mecánica. Es un proceso sencillo en cuanto a su

<p>Tiene un bajo costo de construcción y operación.</p> <p>Son adecuados para ciudades pequeñas y para comunidades donde no se necesite una atención constante y cuidadosa, y el efluente satisfaga ciertos requisitos para evitar la contaminación de las corrientes.</p>	<p>operación y mantenimiento.</p> <p>Sus dimensiones pueden tener gran variabilidad, por lo que puede ser aplicado a proyectos de pequeña y gran escala.</p>
--	--

Fuente: OPS (2005a), Gandarillas, Saavedra, Escalera & Montoya (2017).

Tabla 2

Desventajas en el Tanque Imhoff y Reactor U.A.S.B.

Tanque Imhoff	Reactor U.A.S.B.
<p>Son estructuras profundas (>6m).</p> <p>Es difícil su construcción en arena fluida o en roca y deben tomarse precauciones cuando el nivel freático sea alto, para evitar que el tanque pueda flotar o ser desplazado cuando esté vacío.</p> <p>El efluente que sale del tanque es de mala calidad orgánica y microbiológica.</p> <p>En ocasiones puede causar malos olores, aun cuando su funcionamiento sea correcto.</p>	<p>Los efluentes de los reactores UASB necesitan usualmente un tratamiento adicional para eliminar la materia orgánica remanente, los nutrientes y los patógenos.</p> <p>Para aguas residuales no domésticas requiere de un inóculo para su funcionamiento inicial y de no tener uno adecuado, su arranque es lento. Para aguas residuales domésticas no es necesario el inóculo para arrancar, aunque el tiempo es mayor, del orden de 8 meses.</p> <p>Puede presentar escape de gases debido a fallas de ventilación o sobrecargas, por lo que genera malos olores.</p> <p>Al ser un proceso biológico, es sensible a la temperatura del agua residual y a cambios bruscos de pH fuera del intervalo de 6.5 a 7.5.</p>

Fuente: OPS (2005a), Gandarillas, Saavedra, Escalera & Montoya (2017).

Dicho esto, se procede a realizar una comparación objetiva de la eficiencia entre el Tanque Imhoff y el Reactor U.A.S.B., como sistemas de tratamiento de aguas residuales, mencionando las ventajas y desventajas más significativas de cada sistema.

Metodología

Para iniciar con el análisis comparativo entre el sistema de tratamiento de tanque Imhoff y el reactor UASB, se dimensiona para estos un mismo sistema preliminar que cuenta con un sistema de rejillas y un sistema de desarenador debido a que ambos sistemas requieren de dicho tratamiento antes de ir al proceso del tratamiento primario. Este tratamiento primario cuenta con una población de 600 habitantes que involucra estudiantes, profesores y administrativos del plantel.

Para el tanque Imhoff se procedió a calcular las principales variables de diseño según el manual de la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2005b) con un tiempo de retención de 2 horas, del mismo modo para el Reactor U.A.S.B., se calcularon las variables de diseño tomando un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 9 horas y basando todos los requerimientos en las Normas Técnicas para Aprobación de Planos de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (IDAAN, 2006a; IDAAN, 2006b), Norma DGNTI-COPANIT 39-2000 (MICI, 2000) y la Norma DGNTI-COPANIT 35-2019 (MICI, 2019). Para ambos tanques, el consumo per cápita según el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales para las zonas rurales de 80 gal/persona por día, un valor de 80 % de contribución de aguas servidas, el factor de máxima (F) utilizado fue de 6.46 hab-0.152.

Luego de conocer las variables se procedió al cálculo del caudal medio, con dicho caudal se obtuvieron datos como el área del sedimentador y con el tiempo de retención de 2 horas y el caudal medio se obtuvo el volumen del sedimentador, para proceder a calcular las dimensiones de ancho y largo del sedimentador, todo esto para el tanque Imhoff, y de igual forma el dimensionamiento y eficiencia del Reactor U.A.S.B.

La metodología utilizada para el diseño del paralelepípedo (cubo) del tanque Imhoff es una relación de largo / ancho = 4.

Tabla 3

Comparación entre diseño del tanque Imhoff y el Reactor U.A.S.B.

Variables	Valores del tanque Imhoff	Valores del reactor UASB
Habitantes o población	600 personas	600 personas
Tiempo de retención	2 horas	9 horas
Consumo per cápita	80 gal/personas*día	80 gal/personas*día
Contribución de aguas servidas	80 %	80 %
Factor de máxima	2.44	2.44
Profundidad inicial para tratamientos primarios	4.41 m	4.5 m
DQO afluente		700 mg/L
Relación DQO/DBO5		1.875

Como se realiza comparación entre los dos tipos de tanques, las variables de caudal medio del tanque Imhoff y el reactor U.A.S.B. son iguales, por lo que se procede al cálculo de los caudales máximo diario y horario para la zona rural, para así calcular la carga de afluente medio. Una vez calculado lo mencionado con ayuda de los caudales medios y el tiempo de retención se procedió a calcular el volumen total requerido para ambos sistemas de tratamiento primario.

Resultados

Se presentan los resultados en cuadros comparativos, los cuales presentan los dimensionamientos del tanque Imhoff y el reactor UASB. En la Tabla 4, se puede observar el cálculo del caudal medio 354.442 m³/día en el tanque Imhoff, con este valor se obtuvo el valor del volumen del sedimentador 29.537 m³, el volumen del digestor 21 m³ y área de almacenamiento de lodos 99.687 m³ obteniendo un volumen total de 150 m³.

Tabla 4

Resultados del dimensionamiento entre el tanque Imhoff y el Reactor U.A.S.B.

Variables	Valores del tanque Imhoff	Valores del reactor UASB
Caudal Medio	354.442 m ³ /día	354.442 m ³ /día
Largo	7.69 m	5.43 m
Ancho	4.42 m	5.43 m
Profundidad	4.41 m	4.5 m

Volumen Total	150 m ³	132.912 m ³
Volumen del Sedimentador	29.537 m ³	
Volumen de digestión	21 m ³	
Volumen de almacenamiento de lodos	99.687 m ³	
Caudal máximo diario	36.920 m ³ /h	36.920 m ³ /h
Caudal máximo específico	59.072 m ³ /h	59.072 m ³ /h
Carga del afluente medio		248.11 kg*DQO/día
Cálculo de COV		1.87 kg*DQO/ m ³ *día
Cálculo de CHV		2.67 m ³ / m ³ *día
Velocidad media		0.5 m/hora
Velocidad máxima específica		2 m/hora
Cantidad de difusores		15
Área del reactor		29.54 m ²

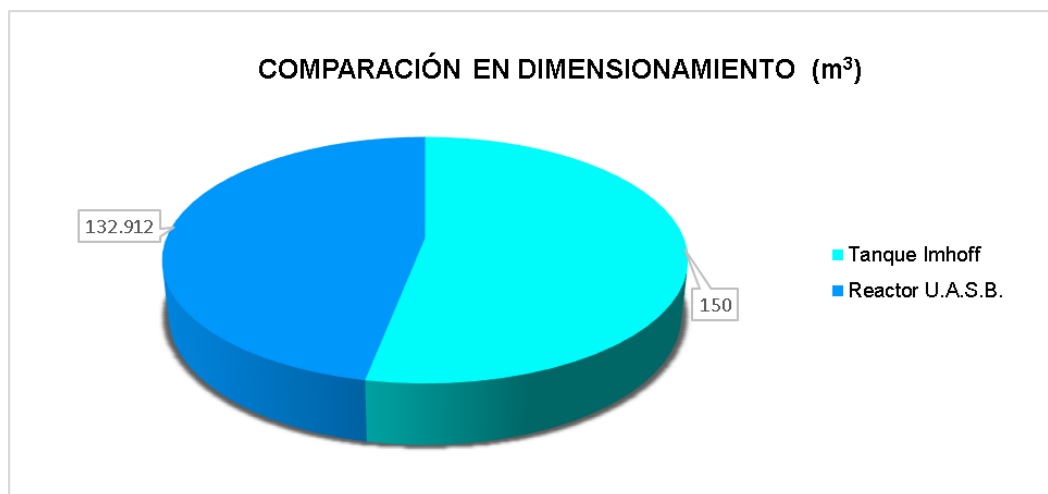
Una vez diseñados ambos sistemas y utilizando una relación de largo / ancho = 4 se obtuvo el dimensionamiento del primer sistema de tratamiento primario (tanque Imhoff), obteniendo los siguientes valores: largo de 7.69 m, ancho de 4.42 m, profundidad de 4.41 m y volumen total de 150 m³.

Para los mismos valores de caudal medio = $354.442 \text{ m}^3 / \text{día}$, con un valor de DQO homogéneo de 700 mg/L como lo dicta el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 39-2000 y un tiempo de retención de 9 horas se obtuvo el volumen del segundo sistema de tratamiento primario (Reactor U.A.S.B.), el cual corresponde a 132.912 m^3 para un área de 29.54 m^2 lo que representa un dimensionamiento con los siguientes valores: largo 5.43 m , ancho 5.43 m y una altura de 4.5 m .

Con esto se comparan los valores de dimensiones, y se obtiene que mientras el Tanque Imhoff para la misma población requiere de 150 m^3 el Reactor U.A.S.B., requiere de 132.912 m^3 , esto implica que como sistema de tratamiento primario el Reactor U.A.S.B., es aproximadamente 0.89 veces más pequeño que el tanque Imhoff, siendo este último 11% más grande que el Reactor U.A.S.B., tal como muestra la Figura 1.

Figura 1

Relación de dimensiones entre los sistemas de tanque Imhoff y Reactor U.A.S.B.



De la figura anterior relativa a la comparación de los sistemas de dimensionamiento, se considera para la construcción un espesor constante de concreto de 0.25 m , dentro de las paredes que conforman dichos sistemas, obteniendo los resultados que se presentan en la Tabla 5 y Figura 2.

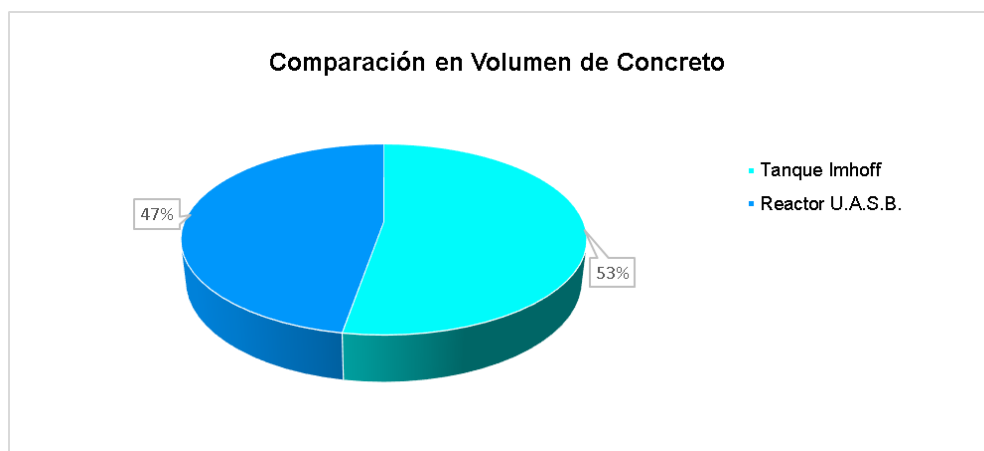
Tabla 5

Comparación de volumen de concreto entre el sistema de tanque Imhoff y Reactor U.A.S.B.

Volumen de Concreto	Tanque Imhoff	Reactor U.A.S.B.
Fondo	8.500 m ³	7.371 m ³
Paredes Laterales	16.956 m ³	12.218 m ³
Paredes Transversales	9.746 m ³	12.218 m ³
Tapa	8.5001 m ³	7.371 m ³
Total	43.702 m ³	39.178 m ³

Figura 2

Relación del volumen de concreto entre un sistema de tanque Imhoff y un Reactor U.A.S.B.



Al analizar los resultados comparativos sobre el peso y costo totales existente entre el sistema de tanque Imhoff y el Reactor U.A.S.B., se establece una relación de 1.237 sobre el peso total del segundo modelo con respecto al primero con respecto al grado porcentual de acero dado en toneladas; caso contrario a los costos por metro cuadrado donde el Reactor U.A.S.B. muestra una relación de 0.905, con respecto al tanque Imhoff, tal como muestran las Tablas 6 y 7.

Tabla 6

Comparación del grado porcentual de acero (ton) entre el sistema de tanque Imhoff y el Reactor U.A.S.B.

Peso Total (Ton)	Tanque Imhoff	Reactor U.A.S.B.
	0.1858	0.2299
Relación	1.237	

Tabla 7

Comparación de costo por metro cuadrado entre el sistema de tanque Imhoff y el Reactor U.A.S.B.

Costo (B./m ²)	Tanque Imhoff	Reactor U.A.S.B.
	485.66	439.73
Relación	0.905	

El análisis determina que la relación de material y costo para la construcción de ambos sistemas es más rentable. La construcción de la segunda propuesta (Reactor U.A.S.B), debido a que posee menor volumen; sin embargo, ambos sistemas son viables para escuelas y centros básicos que presenten características similares al centro básico general de estudio en este caso.



Conclusiones

De los resultados comparativos para la misma población y características de aguas residuales se obtiene que, en cuanto a dimensionamiento el tanque Imhoff y el Reactor U.A.S.B., tienen dimensiones muy similares, por tanto, ambos sistemas representan una viabilidad como sistema de tratamiento primario para escuelas en áreas rurales.

La comparación entre volúmenes de concretos entre un tanque Imhoff y un Reactor U.A.S.B. implica que los costos de ambos sistemas, como sistema de tratamiento primario, lo hacen funcional como medida de costo.

En cuanto a ventajas y/o desventajas, la eficiencia de los sistemas de tratamiento bajo condiciones de aislamiento y ubicación en relación con la comunidad educativa, el Reactor U.A.S.B., resulta ser de beneficio debido a que es una cámara totalmente encerrada a diferencia del tanque Imhoff que es una cámara abierta. Estudios previos comparativos de ambos sistemas a niveles municipales muestran las oportunidades y beneficios que ofrecen el sistema de Reactor U.A.S.B. (Salazar et al., 2019; Unigarro et al., 2014).

Referencias Bibliográficas

- Bermúdez, R. C., Rodríguez, S., Martínez, M., & Terry, A. I. (2003). Ventajas del Empleo de Reactores UASB en el Tratamiento de Residuales Líquidos para la Obtención de Biogas. *Revista Tecnología Química*, vol. 23 (2), 37-44
- Gandarillas, V. R., Saavedra, O., Escalera, R., & Montoya, R. (2017). Revisión de las Experiencias en el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas Mediante Reactores UASB en Cochabamba-Bolivia Comparadas con las de Latinoamérica, India y Europa. *Revista Investigación & Desarrollo*, 1(17), 87.



- Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales – IDAAN. (2006a). *Normas Técnicas para Aprobación de Planos de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios*. Dirección de Ingeniería, Departamento de Estudio y Diseño, 18-21.
- Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales – IDAAN. (2006b). *Normas Técnicas para Aprobación de Planos de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios*. Dirección de Ingeniería - Departamento de Estudio y Diseño, 14-15. Panamá.
- Instituto Nacional de Estadística y Censo. (2010). XI Censo de Población y VII de Vivienda de Panamá: Año 2010. Recuperado el 06 de agosto de 2021, de <https://www.inec.gob.pa/panbin/RpWebEngine.exe/Portal?BASE=LP2010>
- Ministerio de Comercio e Industrias – MICI. (2000). *Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 39-2000 - Descarga de efluentes líquidos directamente a sistemas de recolección de aguas residuales*. Dirección General de Normas y Tecnología Industrial, Panamá.
- Ministerio de Comercio e Industrias – MICI. (2019). *Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 35-2019 - Descarga de efluentes líquidos a cuerpos y masas de aguas continentales y marinas*. Dirección General de Normas y Tecnología Industrial, Panamá.
- Organización Panamericana de la Salud. (2005a). *Especificaciones Técnicas para la Construcción de Tanques Sépticos, Tanques IMHOFF y Lagunas de Estabilización*.
- Organización Panamericana de la Salud. (2005b). *Guía para el Diseño de Tanques Sépticos, Tanques IMHOFF y Lagunas de Estabilización*.
- Salazar, L. L., Uribe, G. L., Gómez, T. L. & Zafra, M. C. (2019). Analysis of the Efficiency of UASB Reactors in a Municipal Wastewater Treatment Plant, *DYNA*. 86(209), 319-326.
- Unigarro, G. J., Zambrano, H. R. & Gallo, S. C. (2014). Caracterización y Modelación del Comportamiento Hidráulico de un Reactor UASB. *Revista EIA*, 11(22), 67-75.