



Folleto informativo de sistemas descentralizados Tratamiento aeróbico

DESCRIPCIÓN

El tratamiento natural de los residuos biológicos ha sido practicado por siglos. Sin embargo, el uso en ingeniería del tratamiento biológico aeróbico del agua residual a gran escala sólo se ha realizado en los Estados Unidos por unas cuantas décadas. En efecto, en 1925 el 80 por ciento de todas las ciudades en Estados Unidos con una población mayor a 100,000 no contaba con ningún tipo de tratamiento (Linsley 1972). El proceso básico de tratamiento aeróbico es el proporcionar un medio de alto contenido de oxígeno para que los organismos puedan degradar la porción orgánica de los desechos a dióxido de carbono y agua en presencia del oxígeno. Con el desarrollo continuo del terreno en aumento, tanto en zonas rurales como suburbanas, el uso de sistemas centralizados de tratamiento no siempre ha estado disponible o no ha sido factible desde el punto de vista económico. Muchos dueños de viviendas todavía dependen del uso de tanques sépticos u otros sistemas para tratamiento en el punto de origen de los residuos domésticos.

Históricamente el tratamiento aeróbico no ha sido posible a pequeña escala, haciendo que los tanques sépticos sean el mecanismo primario de tratamiento; sin embargo, avances tecnológicos recientes han llevado a que sistemas individuales de tratamiento aeróbico puedan ser eficientes y económicos. Los sistemas aeróbicos son similares a los sistemas sépticos en cuanto a que los dos usan procesos naturales para el tratamiento del agua residual. Pero a diferencia del tratamiento séptico (anaeróbico),

los procesos aeróbicos de tratamiento requieren oxígeno. Las unidades de tratamiento aeróbico, por esto, usan un mecanismo de inyección y circulación de aire dentro del tanque de tratamiento. Dado que los sistemas aeróbicos usan procesos de tasas más rápidas, estos pueden lograr una mejor calidad del efluente. El efluente puede ser descargado en forma subsuperficial como en los “campos de infiltración” de los tanques sépticos o, en algunos casos, descargados directamente a la superficie.

Tecnologías actuales

Los sistemas individuales de tratamiento aeróbico han estado en funcionamiento desde la década de 1950, pero estos sistemas consistían sólo de un aereador colocado dentro del tanque séptico. Estos tendían a tener problemas de ruido, olores y mantenimiento, y se utilizaban sólo en donde no era posible usar tanques sépticos estándares. Los sistemas aeróbicos más modernos son pre-diseñados para operar con un alto nivel de eficiencia. La demanda de estas unidades y el interés en contar con descargas directas superficiales ha llevado a que se establezca un proceso de certificación por parte de la Fundación Nacional de Saneamiento (*National Sanitation Foundation*, NSF). Esta certificación (Estándar 40 de la NSF para plantas individuales de tratamiento de agua residual) es aplicable a plantas con una capacidad de hasta 1,500 galones por día, y es usada para la aprobación de plantas de Clase I o de Clase II. La certificación de Clase I señala que el desempeño cumple con las pautas de la EPA para el tratamiento secundario en lo

concerniente a tres parámetros: DBO, sólidos suspendidos y pH. También se miden los niveles de ruido, olores, película de aceite y espuma. Los criterios de la Clase II requieren

que, como máximo, el 10 por ciento de los valores de DQO₅ en el efluente excedan 60 mg/L, y los SST no sobrepasen 100 mg/L

TABLA 1 FABRICANTES QUE TIENEN LA CERTIFICACIÓN NSF CLASE I*

Compañía	Ubicación	Número de modelos certificados	Rango de caudal (galones por día)
Alternative Wastewater Systems, Inc.	Batavia, IL	5	500-1500
American Wastewater Systems, Inc.	Duson, LA	1	500
Aquarobic International	Front Royal, VA	24	500-1500
Bio-Microbics	Shawnee, KS	4	500-1500
Clearstream Wastewater Systems, Inc.	Beumont, TX	10	500-1500
Consolidated Treatment Systems, Inc.	Franklin, OH	10	500-1500
Delta Environmental Products	Denham Springs, LA	9	400-1500
H.E. McGrew, Inc.	Bossier City, LA	4	500-750
Hydro-Action, Inc.	Beaumont, TX	7	500-1500
Jet, Inc.	Cleveland, OH	6	500-1500
Microseptec, Inc.	Laguna Hills, CA	2	600-1500
National Wastewater Systems, Inc.	Lake Charles, LA	1	500
Nordbeton North America, Inc.	Lake Monroe, FL	1	600
Norweco, Inc.	Norwalk, OH	10	500-1500
Thomas, Inc.	Sedro Woolley, WA	6	500-1000

* Actualizado a junio 19 del 2000. La lista está sujeta a cambio y debe contactarse a la NSF para confirmar su vigencia. Fuente: National Sanitation Foundation, 2000

TABLA 2 LIMITES DE OPERACIÓN PARA EFLUENTES NSF CLASE I

DBO y SST	pH	Color	Olor	Espuma	Ruido
30 mg/L de promedio mensual (2.504 x 10 ⁻⁷ libras/galón)	6 a 9 unidades	15 unidades	No repugnante	Ninguna	<60 dbA a 20 pies

Fuente: Evaluación de la NSF del modelo J-500 de la empresa JET (1998).

Hasta junio de 2000 quince empresas contaban con la Certificación NSF 40 de Clase I, para sistemas con capacidades que van de 1,514 a 5,678 L/d (400 a 1,500 galones por día). La Tabla 1 proporciona una lista de las empresas certificadas, el número de modelos disponibles y el rango de caudales tratados. Es importante anotar que la lista de productos certificados de la NSF cambia continuamente y por ello debe contactarse a esa entidad para verificar el estatus del listado presentado en la Tabla 1. La Tabla 2 muestra los límites de operación para efluentes de la Clase I de la NSF.

APLICABILIDAD

Si bien los sistemas domésticos a pequeña escala han sido utilizados para viviendas en los Estados Unidos desde hace más de 50 años, su uso ha sido bastante limitado, en parte por el uso generalizado de sistemas sépticos que son relativamente económicos y fáciles de mantener. Estos son los sistemas de tratamiento en el punto de origen más comunes en áreas rurales. Sin embargo, los sistemas sépticos pueden no estar bien adaptados para muchas viviendas.

Por ejemplo, los sistemas sépticos no son adecuados para todas las aplicaciones descentralizadas de tratamiento de agua residual. En efecto, se considera que cerca de dos tercios del área total de los Estados Unidos no es adecuada para el uso de sistemas sépticos (Linsley 1972). Algunas viviendas pueden no tener suficiente terreno o condiciones apropiadas del suelo para acomodar el campo de drenaje para absorción al suelo. En algunas comunidades el nivel freático es muy alto para permitir que el campo de drenaje dé un tratamiento apropiado al agua residual antes de su retorno al agua subterránea.

Otra preocupación asociada con el terreno es la localización en viviendas o en lotes con árboles, o en la cercanía de cursos de agua. Los dueños de viviendas en áreas con árboles pueden no

estar dispuestos a desmontar un área suficiente de terreno para la instalación del tanque séptico y el campo de drenaje, además el agua de tanques sépticos a menudo no proporciona agua residual de suficiente calidad para su descarga cerca de un cuerpo de agua.

Una de las razones más comunes para seleccionar unidades de tratamiento aeróbico es el reemplazar sistemas sépticos defectuosos que en algunas áreas son la fuente principal de contaminación del nivel freático. Si un sistema séptico dañado necesita ser reemplazado, o si el terreno es inadecuado para un sistema séptico, la opción del tratamiento aeróbico del agua residual puede ser la más viable.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas

- Pueden proporcionar un mejor nivel de tratamiento que los sistemas sépticos.
- Ayudan a proteger valiosos recursos de agua en zonas en donde existen sistemas sépticos en mal estado de funcionamiento.
- Son una alternativa para sitios en donde los sistemas sépticos no son adecuados.
- Pueden extender la vida útil del campo de drenaje.
- Pueden permitir la reducción en el tamaño del campo de drenaje.
- Reducen la descarga de amoníaco a las aguas receptoras.

Desventajas

- Son más costosos de operar que los sistemas sépticos.

- Requieren electricidad.
- Incluyen partes mecánicas que se pueden descomponer.
- Requieren un mayor mantenimiento rutinario que los tanques sépticos.
- Están sujetos a trastornos de operación cuando se producen sobrecargas repentinas, o no se hace un mantenimiento adecuado.
- Pueden liberar más nitratos al agua subterránea que los tanques sépticos.

CRITERIOS DE DISEÑO

Con los procesos aeróbicos en el punto de origen de los desechos comúnmente se logra un mejor nivel de tratamiento que con los tanques sépticos; sin embargo, los procesos aeróbicos pueden tener una alta variabilidad en la calidad del efluente debido al arrastre periódico de los sólidos por el abultamiento de los lodos, la adición de acondicionadores químicos, o la excesiva acumulación de lodos. Se requiere que personal con un cierto grado de entrenamiento realice la operación y el mantenimiento rutinarios para asegurar que el funcionamiento de los equipos, que son moderadamente más complejos, sea adecuado. Se recomiendan inspecciones cada dos meses.

Se requiere electricidad para la operación de los equipos de aireación y las bombas. Los campos de absorción dependen de las condiciones del terreno y el suelo, y se restringen normalmente a zonas con una tasa de percolación menor a 2.4 minutos/mm (60 minutos/pulgada), una profundidad a la capa freática o al lecho de roca de 0.61 a 1.2 metros (2 a 4 pies), y una topografía plana o ligeramente inclinada. Dos sistemas aeróbicos primarios han sido adaptados para uso en el sitio de generación de los residuos: el de cultivo en suspensión y el de cultivo fijo. En sistemas de cultivo en

suspensión, los microorganismos responsables de la degradación de los residuos se mantienen suspendidos en el medio de agua residual. En los sistemas de cultivo fijo los organismos están adheridos a un medio inerte. Muy pocos sistemas basados en cultivo fijo se encuentran disponibles en forma comercial para uso en aplicaciones en el sitio de origen; Además, estos sistemas incluyen una variedad de dispositivos de propiedad registrada que hace difícil prescribir pautas de diseño. En muchos casos, sin embargo, las pautas de diseño de los sistemas de cultivo fijo son similares a las de cultivo en suspensión.

Configuración

La mayoría de las unidades aeróbicas diseñadas para uso doméstico tienen una capacidad entre 1,514 y 5,678 litros (400 a 1,500 galones) que incluye el compartimiento de aireación, la cámara de sedimentación y, en algunas unidades, un compartimiento de pretratamiento. Con base en el caudal promedio de una vivienda, este volumen provee un tiempo hidráulico de retención de varios días.

Pretratamiento

Algunas unidades aeróbicas cuentan con un paso de pretratamiento para la remoción de la grasa, la basura y los desechos de triturado. Los dispositivos de pretratamiento incluyen las trampas de basura, los tanques sépticos, los trituradores, y las cámaras aireadas para manejo de sobrecargas. El uso de trampas de basura o de tanque sépticos antes del proceso de aireación extendida reduce problemas de detritos flotantes en el sedimentador final, y de obstrucción de tuberías y las bombas. El pretratamiento es requerido en los sistemas de cultivo fijo para prevenir el mal funcionamiento.

Modo de flujo

Las plantas aeróbicas de tratamiento de cultivo biológico en suspensión pueden ser diseñadas como sistemas de flujo continuo, o de tratamiento por tandas. Los sistemas más simples de flujo continuo no cuentan con regularización del flujo y dependen del volumen del tanque de aireación y los deflectores para reducir el impacto de las sobrecargas hidráulicas repentinas. Algunas unidades usan dispositivos más sofisticados de compensación del flujo, tales como el empuje por aire o el uso de bombas mecánicas de flotador para transferir el agua residual del tanque de aireación al sedimentador. Otras unidades cuentan con tanques de cámaras múltiples para atenuar el flujo. Los sistemas de flujo por tandas (de llenado y descarga) eliminan el problema de la sobrecarga hidráulica. Estas unidades recolectan y tratan el agua residual por un periodo de tiempo (generalmente un día), y luego descargan el efluente sedimentado por bombeo al final del ciclo. Las plantas de tratamiento de cultivo fijo operan con un flujo continuo.

Método de aireación

El oxígeno es transferido a la corriente de desechos mediante difusión de aire, turbinas de agitación (*sparged turbina*), o dispositivos de atrape superficial. Cuando se utilizan sistemas de difusión de aire, los sopladores de baja presión o compresores fuerzan el aire a través de difusores ubicados en el fondo del tanque. La turbina de agitación usa una fuente de aire difuso y una mezcla externa, usualmente a partir de turbina sumergida de paletas planas. La turbina de agitación es más compleja que un sistema simple de difusión de aire. Una variedad de dispositivos de atrape superficial se usan en las plantas paquete para airear y mezclar el agua residual. El aire es atrapado y luego circulado por el licor mezclado por agitación violenta debida a la mezcla o al bombeo. La eficiencia de transferencia de oxígeno de estas pequeñas plantas paquete es normalmente reducida (3.4 a 16.9 kg O₂/MJ, o 0.2 a 1.0 libras O₂/HP/hora) en comparación con los sistemas a

gran escala que pueden transferir valores iguales o mayores a 50.7 kg O₂/MJ (3 libras O₂/HP/hora). Esta diferencia se debe principalmente a la alta demanda de energía de las unidades pequeñas. Normalmente se cuenta con una transferencia suficiente del oxígeno para obtener niveles elevados. Con el propósito de reducir los requerimientos de energía, o mejorar la remoción del nitrógeno, algunas unidades usan una aireación en ciclos. El mezclado del tanque de aireación es también una consideración importante en el diseño de los dispositivos de transferencia de oxígeno. El criterio general para los requisitos de mezcla en los tanques de aireación es de 0.465 a 0.931 kW/m³ (0.5 a 1 HP/1,000 pies cúbicos) dependiendo de la geometría del reactor, y el tipo de aireación o la configuración del sistema de aireación. Para las unidades paquete disponibles en el mercado se reporta que la energía de mezcla impartida es de 0.19 a 2.8 kW/m³ (0.2 a 3 HP/1000 pies cúbicos). En unidades con menores intensidades de mezcla se pueden desarrollar problemas en la sedimentación de los sólidos.

Separación de la biomasa

La sedimentación es crítica para el funcionamiento efectivo del proceso de cultivo en suspensión. La mayoría de las plantas paquete disponibles en el mercado simplemente proporcionan separación por gravedad. A los diseños de vertedero y deflector se les ha dado poca consideración para su uso en unidades paquete. Longitudes de vertedero de por lo menos 12 pulgadas (30 cm) son las preferidas; tabiques deflectores de lodo (tabiques Stamford) son una forma simple de mantener los sólidos flotantes alejados del vertedero.

Dispositivos de clarificación de flujo ascendente han sido usados para mejorar la separación, pero se debe evitar la sobrecarga hidráulica en estos sistemas. Dispositivos de filtración han sido utilizados en algunas unidades, pero estos son muy susceptibles a la obstrucción.

Controles y alarmas

La mayoría de las unidades aeróbicas están dotadas con algún tipo de alarma y un sistema de control para detectar fallas mecánicas y para operar los componentes eléctricos. Estos normalmente no incluyen dispositivos para detectar la calidad del efluente ni el deterioro de la biomasa. Estos sistemas de control están sometidos a la corrosión por contener componentes eléctricos. Todos estos componentes deben ser impermeabilizados y recibir servicio en forma rutinaria para asegurar su operación continua.

Rasgos adicionales de construcción

Las plantas paquete típicas de aireación extendida para uso en el punto de origen de los residuos se construyen de materiales no corrosivos, los cuales incluyen los plásticos reforzados y fibra de vidrio, el acero recubierto y el concreto reforzado. La unidad puede construirse enterrada mientras se tenga fácil acceso a todos los componentes mecánicos, los sistemas eléctricos de control y los dispositivos que requieren mantenimiento, tales como los vertederos, las tuberías de las bombas de aire, etcétera. Las unidades pueden instalarse también en la superficie, pero deben contar con aislamiento para protegerlas de condiciones climáticas severas. La instalación debe hacerse de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

Los dispositivos de la planta deben estar contruidos de materiales resistentes a la corrosión incluyendo plásticos de polietileno. Las estructuras de apoyo del difusor de aire se construyen normalmente con acero galvanizado o un material equivalente. Las unidades de empuje de aire deben ser de un diámetro grande para evitar problemas de obstrucción. Las unidades mecánicas deben ser a prueba de agua y/o protegidas de los elementos. Para sistemas de cultivo fijo, las empaquetaduras o los medios sintéticos de adhesión se prefieren a los de

materiales naturales por ser más livianos y duraderos, y proporcionar un mejor cociente de volumen libre con relación a la superficie disponible de adhesión.

Dado que los sopladores, las bombas y otros dispositivos que contienen piezas móviles están sujetos a maltrato por exposición a condiciones severas, así como la falta de atención y operación continua, estos se deben diseñar para uso en condiciones extremas. También deben ser de fácil acceso para el mantenimiento rutinario y estar conectados a un sistema efectivo de alarma.

DESEMPEÑO

En las plantas paquete de aireación extendida, se mantienen tiempos largos de retención hidráulica y de retención de sólidos (*solids retention time*, SRT) para asegurar un alto grado de tratamiento con un mínimo de control operacional para contrarrestar las sobrecargas hidráulicas u orgánicas del sistema, y para reducir la producción de lodos. Dado que la remoción de sólidos acumulados no se lleva a cabo en forma rutinaria en muchas de estas unidades, el SRT aumenta al punto que el sedimentador ya no puede manejar los sólidos, y estos son descargados sin control en el efluente. El desempeño de la unidad de tratamiento (incluyendo la nitrificación) normalmente mejora cuando se aumenta el tiempo hidráulico de retención y el SRT al punto en el cual se produciría una alta pérdida de sólidos suspendidos. Este es uno de los mayores problemas en las unidades de aireación extendida, y con frecuencia es la causa del mal desempeño de la unidad.

La concentración de oxígeno disuelto en el tanque de aireación debe ser mayor de 2 mg/L (1.669×10^{-8} libras/galón) para asegurar un alto grado de tratamiento y una buena sedimentación del lodo. Normalmente, las plantas de aireación

extendida de uso en el punto de generación de residuos suministran un exceso de oxígeno disuelto debido a las restricciones mínimas de tamaño de los sopladores o de los motores mecánicos. Un elemento importante del sistema de aireación es el mezclado que suministra el sistema de aireación. Las unidades paquete deben estar diseñadas para proporcionar una mezcla suficiente para asegurar una buena suspensión de los sólidos para transferencia de masa de nutrientes y de oxígeno a los microbios. Las características del agua residual también tienen influencia en el desempeño del proceso. Cantidades excesivas de agentes de limpieza, grasa, materia flotante y otros detritos pueden causar trastornos del proceso y un mal funcionamiento de los equipos. La eficiencia del proceso puede estar afectada también por la temperatura; en general, a medida que esta aumenta se logra un mejor desempeño.

El sedimentador es un elemento importante del proceso de tratamiento. Si la biomasa no puede ser separada en forma apropiada del efluente tratado, el proceso falla. El desempeño del sedimentador depende de la sedimentabilidad de la biomasa, la tasa de carga hidráulica superficial, y la tasa de carga de lodos. Las sobrecargas hidráulicas pueden dar como resultado un mal funcionamiento severo del sedimentador. Como se mencionó anteriormente, las altas cargas de sólidos causadas por la acumulación de sólidos del licor mixto eventualmente tienen como resultado el arrastre de los sólidos. Los tiempos de retención excesivamente largos para lodos depositados en el sedimentador pueden dar como consecuencia la gasificación y la flotación de esos lodos. La nata y el material flotante que no se remueven de la superficie del sedimentador deterioran la calidad del efluente.

En general, las plantas paquete de aireación extendida producen un alto grado de nitrificación dado que los tiempos de retención hidráulico y de sólidos son altos. La reducción del fósforo es normalmente menor al 25 por

ciento. En los procesos de aireación extendida para uso en el punto de origen de los desechos, la remoción de bacterias indicadoras (coliformes fecales) es altamente variable y poco documentada. En los efluentes de aireación extendida los valores reportados de coliformes fecales parecen ser menores en dos órdenes de magnitud, que en los de tanques sépticos.

Las unidades aeróbicas pueden lograr una mayor remoción de BOD₅ que los tanques sépticos, pero la remoción de los sólidos suspendidos, que depende en gran medida de los métodos de separación, es similar en los dos sistemas. Normalmente se logra la nitrificación, pero se obtiene una reducción muy limitada del fósforo. Estudios del NSF señalan que las unidades de cultivo en suspensión pueden lograr reducciones desde el 70 al 90 por ciento de la DBO₅ y los SST en agua combinada doméstica, lográndose concentraciones hasta de 20 mg/L para esos dos parámetros en el efluente.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Operación general de la planta

El proceso de lodos activados puede ser operado mediante el control de unos cuantos parámetros: el oxígeno disuelto en el tanque de aereación, la tasa de retorno del lodo, y la tasa de purga del lodo. Para plantas paquete de uso en el punto de origen de los desechos, estas técnicas de control están normalmente determinadas por limitaciones mecánicas, de manera que se tiene muy poco control operacional. El nivel de oxígeno disuelto es normalmente alto, y en la práctica no puede controlarse excepto con una operación de encendido y apagado. La experimentación con el proceso puede determinar una condición deseable de arreglo de los ciclos usando un simple control de cronómetro que ahorre en el uso de electricidad y también logre una cierta remoción del nitrógeno.

La tasa de retorno del lodo está determinada normalmente por la capacidad de bombeo y la configuración de las tuberías. Las tasas de bombeo de retorno del lodo comúnmente van del 50 al 200 por ciento del caudal de entrada. Estos valores deben ser lo suficientemente altos para reducir a un mínimo los tiempos de retención de sólidos en el sedimentador (a menos de una hora), pero lo suficientemente reducidos para prevenir el bombeo de cantidades excesivas de agua con lodos. Los controles de cronómetro pueden ser usados para regular el bombeo de retorno.

La purga de lodos es realizada manualmente en la mayoría de las plantas paquete, normalmente durante el mantenimiento rutinario. Gracias a su experiencia, los técnicos saben cuando son excesivas las concentraciones de los sólidos del licor mezclado, dando como resultado una carga excesiva del sedimentador. Generalmente es adecuado usar intervalos entre 8 y 12 meses entre las purgas, pero estos valores varían con el diseño de la planta y las características del agua residual. La purga se hace normalmente por bombeo directo del licor mixto del tanque de aireación. La purga de cerca del 75 por ciento del volumen del tanque de aireación es normalmente suficiente. El lodo purgado debe ser manejado en forma adecuada.

Comienzo de la operación

Antes del comienzo efectivo, se debe verificar la prueba para asegurar que la instalación se realizó en forma adecuada. La siembra de la planta con cultivos de bacterias no es requerida ya que normalmente estos se desarrollan en un periodo de 6 a 12 semanas. Al comienzo se puede desarrollar una gran cantidad de espuma blanca, pero esto disminuye a medida que aumentan los sólidos del licor mezclado. Durante el comienzo, es aconsejable usar una tasa alta de retorno de lodos. Es deseable que durante el primer mes de inicio de la operación,

haya un monitoreo por parte del personal cualificado.

Operación y mantenimiento rutinarios

El proceso de mantenimiento de sistemas de cultivo en suspensión requiere más esfuerzo laboral que los sistemas sépticos, y necesita personal moderadamente cualificado. De acuerdo a la experiencia de campo con estas unidades, se necesitan de 12 a 48 horas-hombre anualmente, más los servicios de laboratorio analítico para asegurar un desempeño razonable. Los requisitos de energía son variables, pero el rango va de 2.5 a 10 kW-hora/d (8,530.8 a 34,132.2 BTU/día). El mantenimiento de los sistemas de cultivo fijo requiere menos esfuerzo laboral, pero aun así es necesario que el personal sea moderadamente cualificado. Se calcula, con base en limitadas experiencias de campo, que se necesitan de 8 a 12 horas-hombre por año, más servicios de laboratorio analítico, para asegurar un desempeño adecuado. Los requisitos de energía dependen del dispositivo utilizado, pero en general son de 1 a 4 kW-hora/d (3,412.3 a 13,649.3 BTU/día). El mantenimiento de los dos tipos de unidades de tratamiento normalmente se realiza por contrato para dar servicio rutinario. No se requieren sustancias químicas para ninguno de los dos métodos a menos que la desinfección química, o la remoción adicional de nutrientes (N y P), sea requerida para la descarga a aguas superficiales.

Problemas operacionales

Los principales problemas de mantenimiento de las unidades de tratamiento para uso en el punto de origen de los residuos incluyen fallas del soplador o del equipo mecánico de aireación, la obstrucción de las bombas y tuberías, la falla de los motores eléctricos, la corrosión y/o fallas de los controles, y el mal funcionamiento eléctrico. Una atención meticulosa al cronograma de mantenimiento reduce estos problemas, y alivia problemas potenciales debidos al trastorno de los procesos biológicos. Se debe poner énfasis

en la verificación de mantenimiento adecuada durante los primeros 2 a 3 meses de operación.

COSTOS

El costo de sistemas instalados con capacidades entre 1,892 y 5,678 litros/día (500 a 1,500 galones por día), tanto de cultivo en suspensión como de cultivo fijo, se encuentra generalmente en el rango entre \$2,500 y \$9,000. Estos costos fueron actualizados usando el índice de construcción del ENR (ENR = 6076). Estas unidades requieren mantenimiento más frecuente que un tanque séptico tradicional, y se recomienda darles servicio trimestralmente. El costo anual de mantenimiento es de \$350 en promedio. Dado que muchos de estos sistemas están siendo instalados para reemplazar sistemas sépticos defectuosos, se pueden tener costos adicionales cuando se toman en consideración las condiciones del sitio y las tuberías adicionales.

REFERENCIAS

1. Barrett, Michael E. and J. F. Malina, Jr. September 1, 1991. *Technical Summary of Appropriate Technologies for Small Community Wastewater Treatment Systems*. The University of Texas at Austin.
2. Cheremisinoff, Paul N. 1987. *Wastewater Treatment*. Pudvan Publishing Co., Northbrook, Illinois.
3. Corbitt, Robert A. 1990. *Standard Handbook of Environmental Engineering*. McGraw-Hill, Inc. New York, New York.
4. Crites, R.; G. Tchobanoglous. 1998. *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*. WCB McGraw-Hill, Inc. Boston, Massachusetts.
5. Jet Inc. March 1998. *Wastewater Technology: Report on the*

Performance Evaluation of the Jet Inc. Model J-500 Wastewater Treatment System. NSF International. Ann Arbor, Michigan.

6. Jet Inc. *Technical Manual: 1500 Series BAT Media Plants*. Jet Inc. Cleveland, Ohio.
7. Linsley, Ray K. and J. B. Franzini. 1972. *Water-Resources Engineering* 2nd Ed., McGraw-Hill, Inc. New York, New York.
8. Multi-Flo. *Wastewater Treatment System for Residential and Commercial Properties*. Multi-Flo. Franklin, Ohio
9. Norweco, Inc. *Engineering Data Wastewater Treatment System for Developments Beyond the Reach of Publicly Owned Sanitary Sewers*. Norweco, Inc. Norwalk, Ohio.
10. *Pipeline: Small Community Wastewater Issues Explained to the Public*. Winter 1996. National Small Flows Clearinghouse. vol. 7 no. 1.

11. U.S. Environmental Protection Agency.
1980. *Design Manual: Onsite
Wastewater Treatment and Disposal
Systems*. EPA Office of Water. EPA
Office of Research & Development.
Cincinnati, Ohio. EPA 625/1-80/012.

INFORMACION ADICIONAL

Mr. Mike Price, Vice President
Norweco, Inc.
220 Republic Street
Norwalk, Ohio 44857

Mr. William Neal., Vice President
JET, Inc.
750 Alpha Drive
Cleveland, Ohio 44143

Mr. Mike Lynn
Onsite Solutions

P.O. Box 570
Nokesville, Virginia 20182

Mr. Thomas Bruursema
NSF International
789 Dixboro Road
Ann Arbor, MI 48105

La mención de marcas registradas o productos comerciales no significa la aprobación ni recomendación por parte de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

Para más información contáctese con:

Municipal Technology Branch
U.S. EPA
Mail Code 4204
1200 Pennsylvania Avenue, NW
Washington, D.C., 20460

