

Una estrategia para optimizar la digestión aerobia: un proceso cíclico

Jackie Lauer, INVENT Environmental Technologies, Inc.

Un concepto erróneo en la digestión aerobia es que el proceso debe estar aireado durante el 100 % del tiempo de retención. Al redefinir esta perspectiva, se ha descubierto que alternar entre solo mezclado y un mezclado mientras se airea resulta más eficaz, al tiempo que más eficiente energéticamente. Al tener la capacidad de conectar y desconectar el suministro de aire, el sistema establece fases aerobias y anóxicas que permiten una mayor reducción de nutrientes, una mejor deshidratabilidad y una mayor destrucción de lodos volátiles.

Esto favorece la respiración endógena y la nitrificación. Existen muchas tecnologías diferentes para la digestión aerobia y, a menudo, deben combinarse varios tipos de equipos para lograr el proceso cíclico. Afortunadamente, existen sistemas que pueden realizar la agitación y la aireación desacoplados con un solo dispositivo.

1. Definición de la digestión aerobia

La digestión aerobia es un proceso de tratamiento de aguas residuales utilizado para tratar lodos activados residuales o una mezcla de lodos. Las aplicaciones típicas producen un lodo capaz de cumplir los requisitos de los biosólidos de clase B, y los tiempos de retención suelen oscilar entre 40 y 60 días. La destrucción de los lodos es principalmente una función directa de la edad y la temperatura de los lodos que se muestra en la figura 1 (Metcalf & Eddy, 2014).

Los digestores aeróbicos pueden alcanzar unas condiciones termófilas que facilitan reacciones bioquímicas más rápidas y reducen el tiempo de retención de 20 a 40 días, normalmente. Las condiciones termófilas pueden proporcionar una mayor reducción de bacterias y virus, cumplir los requisitos de biosólidos de clase A cuando se opera a 55° C o más, y menores requisitos energéticos que la digestión aerobia convencional. Aunque son ventajosas para la digestión aerobia, este artículo no tratará más a fondo las condiciones termófilas y se centrará únicamente en el proceso tradicional de digestión aerobia.

La digestión aerobia es la degradación de los lodos orgánicos en presencia de oxígeno. Se introduce oxígeno en la balsa o el tanque para permitir que los microorganismos presentes en los lodos conviertan la materia orgánica en dióxido de carbono y agua, y el amoníaco y los grupos amino en nitrógeno. Los cambios bioquímicos en un digestor aeróbico siguen las ecuaciones siguientes:

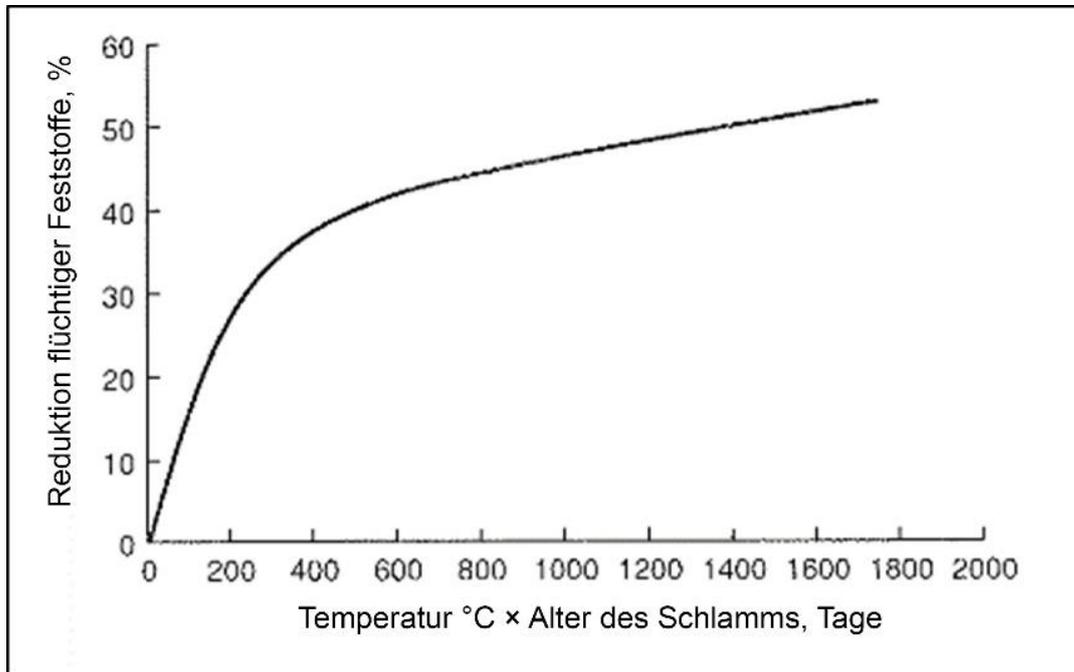


Figura 1: Reducción de sólidos volátiles en un digestor aeróbico en función de la temperatura y la edad de los lodos

La digestión aerobia es la degradación de los lodos orgánicos en presencia de oxígeno. Se introduce oxígeno en la balsa o el tanque para permitir que los microorganismos presentes en los lodos conviertan la materia orgánica en dióxido de carbono y agua, y el amoníaco y los grupos amino en nitrógeno. Los cambios bioquímicos en un digestor aeróbico siguen las ecuaciones siguientes:

Destrucción de biomasa: *biomasa + oxígeno → dióxido de carbono + agua + bicarbonato de amonio*

Nitrificación: *amoníaco + oxígeno → nitrato + hidrógeno + agua*

Ecuación global: *biomasa + oxígeno → dióxido de carbono + agua + ácido nítrico*

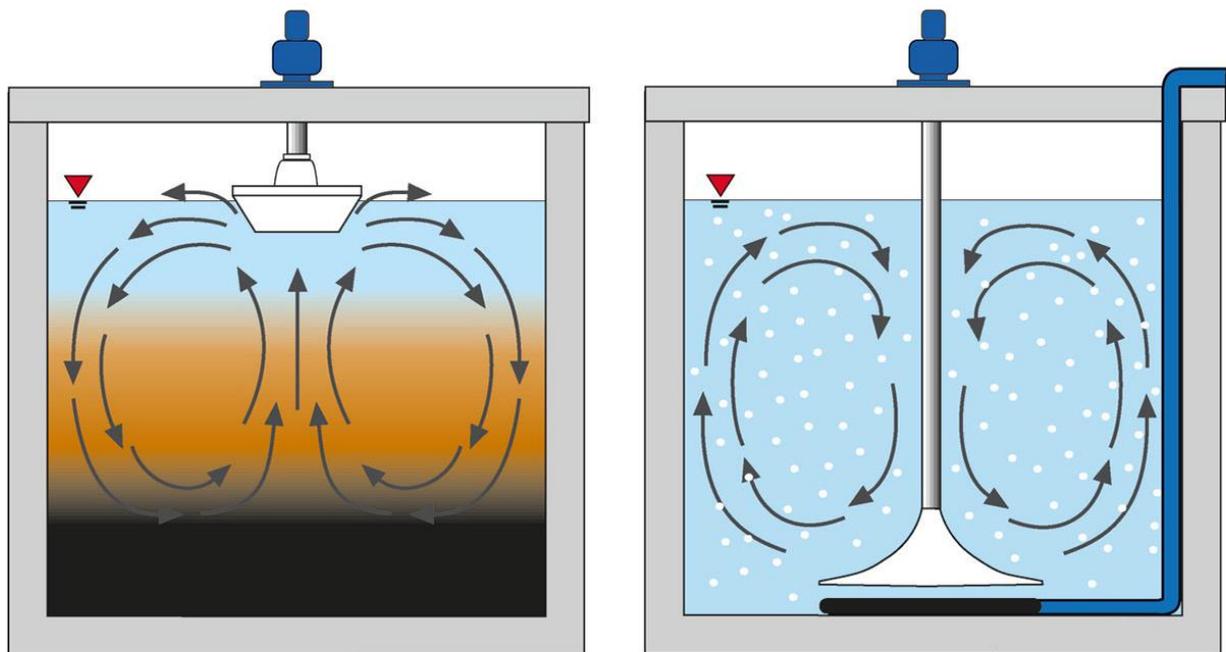
Desnitrificación: *biomasa + nitrato → dióxido de carbono + nitrógeno + amoníaco + hidróxido*

Proceso completo: *biomasa + oxígeno → dióxido de carbono + nitrógeno + agua*

La digestión aerobia es similar al proceso convencional de lodos activados, aunque presenta tiempos de retención más largos sin una alimentación de aguas residuales brutas, es decir, sin alimento para los microorganismos. Cuando no hay un nuevo suministro de materia orgánica para los microorganismos, estos mueren y se convierten en alimento para otras bacterias del tanque, lo que reduce la concentración de sólidos orgánicos del lodo.

Este proceso se conoce como respiración endógena. La digestión aerobia también tiene la capacidad de nitrificar en determinadas condiciones. Las operaciones típicas se controlan mediante el pH; no obstante, se pueden utilizar otros parámetros para controlar el proceso.

2. Tecnologías actuales



Oxygen distribution with insufficient mixing – poor purification performance

Oxygen distribution with good mixing & homogenization – excellent purification performance

Figura 2: Aireador de superficie frente a un aireador/agitador hiperboloide

Dado que el proceso de digestión aerobia requiere tanto el suministro de aire como una acción de agitación, el equipo habitual puede incluir aireación por burbujas gruesas, aireación por chorro, aireación superficial y aireación por burbujas finas. Para poder hacer ambas cosas, es decir, mezclar y mezclar mientras se proporciona aireación, a menudo hay que utilizar varios dispositivos.

Existen tecnologías con capacidad para realizar solo mezclado y un mezclado mientras se airea, lo que elimina la necesidad de dos sistemas diferentes. El sistema de agitación y aireación **HYPERCLASSIC**® de **INVENT** ha demostrado ser adecuado para esta aplicación, ya que permite alternar entre solo mezclado y un mezclado mientras se airea.

El sistema permite mezclar mecánicamente y airear los digestores aeróbicos. El aire puede desconectarse mientras se sigue mezclando, creando unas condiciones anóxicas para que pueda producirse la desnitrificación. Este sistema proporciona un control óptimo de un proceso que anteriormente era en su mayor parte inflexible y que ahora presenta ventajas significativas sobre otros sistemas como, por ejemplo, los aireadores de superficie (véase la figura 2).

3. El valor alfa

Con un 2 % o más de sólidos en suspensión en el líquido mezclado (MLSS), se requiere una agitación mecánica debido a la viscosidad del líquido, ya que el aire por sí solo no proporcionará una agitación suficiente. A medida que aumenta el porcentaje de sólidos, se produce una correlación con una disminución del valor alfa. El valor alfa es la interferencia con la eficiencia de transferencia de oxígeno, y los datos indican que existe una fuerte correlación entre la viscosidad del fluido y la eficiencia de transferencia de oxígeno. En el artículo "Digester Aeration Design at High Solids Concentration", la investigación ha demostrado que con difusores de burbuja fina, el valor alfa cae por debajo de 0,1 alrededor del 3 % de MLSS (Schoenenberger, Shaw, Redmon, 2003).

Cuando el valor alfa cae por debajo de 0,1, esto puede conducir a condiciones anaerobias no deseadas, causantes de olores y de formación de espuma; el sistema de agitación y aireación **HYPERCLASSIC**® proporciona unos valores alfa más altos, ya que la naturaleza mecánica del dispositivo impulsa el oxígeno a mayor profundidad en los flóculos de lodo. El valor alfa para sólidos de hasta el 5 % puede ser de alrededor de 0,27 para este sistema de agitación y aireación. Esto se debe a la agitación mecánica, que permite la distribución de aire por todo el tanque, y al sistema que proporciona una burbuja entre pequeña y mediana, para lograr una mejor transferencia de oxígeno.

4. Ciclo entre solo mezclado y un mezclado mientras se airea

A diferencia de la sobreaireación que proporciona el mezclado con aireación continua convencional, un sistema de agitación y aireación desacoplados permite controlar todo el proceso de digestión aerobia mediante el suministro de oxígeno y/o la agitación. Deben establecerse diferentes parámetros para controlar el proceso de digestión aerobia; para controlar el ciclo entre solo mezclado y un mezclado mientras se airea, junto con el pH, se pueden emplear el tiempo como el ORP (potencial de reducción de la oxidación).

Dado que la reducción de sólidos suele ser el principal objetivo de la digestión aerobia, la modificación del pH determina la capacidad de destruir la biomasa. Cuando el pH desciende, se hace necesaria la adición de alcalinidad para combatir la escasa deshidratabilidad de los lodos. Cuando se desconecta el ciclo de suministro de aire, la alcalinidad puede restablecerse mediante la destrucción de nitratos (desnitrificación). Este ciclo de conexión/desconexión del suministro de aire puede disminuir ahora la necesidad de las sustancias químicas necesarias para los sistemas de aireación continua.

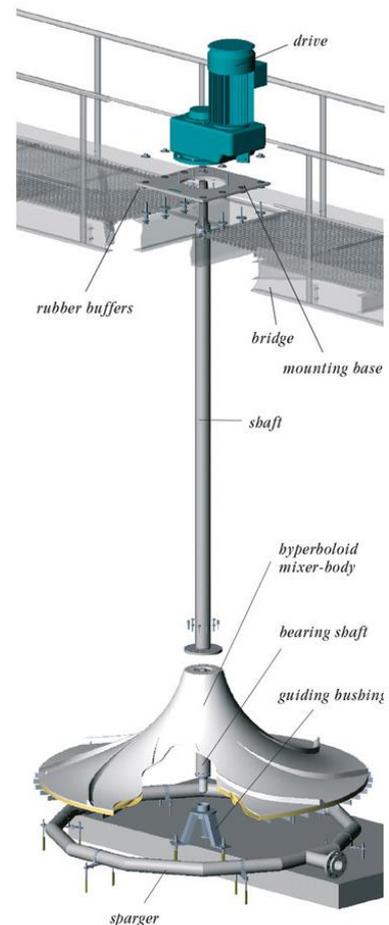
La nitrificación también puede ser un objetivo principal de la digestión aerobia, siendo esta ventajosa cuando el amoníaco en el digestato es motivo de preocupación en la cabecera de una planta de tratamiento. A partir de la agitación y de la aireación, la biomasa del sistema se destruye, produciéndose dióxido de carbono, agua y bicarbonato de amonio. Al seguir introduciéndose aire en el sistema, la nitrificación puede tener lugar ahora, convirtiéndose el amonio en nitrato, hidrógeno y agua. Si sigue conectado el suministro de aire, este proceso continuado puede hacer bajar el pH y consumir alcalinidad.

Ahora, introduciendo únicamente unos largos periodos de agitación, el digestor aeróbico se vuelve esencialmente un digestor anóxico/anaeróbico, con cero oxígeno en toda la balsa o depósito colector. Este ciclo inicia el proceso de desnitrificación en el que el nitrato se combina con el hidrógeno de la nitrificación para formar nitrógeno y agua y, en presencia de biomasa, también produce dióxido de carbono y amoníaco. La desnitrificación restablece el pH, devolviendo la alcalinidad al sistema. Con el pH restablecido, en los digestores aeróbicos se puede conectar el suministro de aire, comenzando el ciclo de nuevo. Al final del proceso, el digestato tiene ahora hasta un 20 % menos de amoníaco, retornando a la cabecera de la planta de tratamiento.

5. Sistema de agitación y aireación HYPERCLASSIC[®]: Vista general

Al permitir que el operador tenga más control sobre el proceso de digestión aerobia, las plantas de tratamiento tienen la capacidad de reducir costes, reducir las necesidades de productos químicos y aumentar el ahorro de energía con la digestión aerobia cíclica. Con el sistema de agitación y aireación **HYPERCLASSIC[®]** la energía de mezclado se disipa en el momento de introducción del aire, creando una superficie de burbujas de aire que se renuevan constantemente cuando se activa el suministro de aire, al tiempo que se mantiene un nivel de agitación suficiente cuando se desactiva el suministro de aire. Esto crea el entorno ideal para la digestión aerobia cíclica.

El propio sistema cuenta con un cuerpo agitador hiperboloide que no se obstruye y cuenta con nervaduras de transporte integradas para una aceleración óptima del fluido. La contrapresión y la eficacia de la aireación son constantes, por lo que no se deteriora la eficacia con el paso del tiempo, siendo posible conectar y desconectar el suministro de aire siempre que sea necesario. Incluso con unos sólidos MLSS elevados, el sistema de agitación y aireación es robusto, resultando además sencillo su mantenimiento y manejo.



El sistema solo requiere un mantenimiento por encima del nivel de agua en el motorreductor montado en seco, y realizar una inspección en la guía inferior montada en el fondo del tanque cada pocos años. El sistema puede funcionar con distintos niveles de agua, con la posibilidad de vaciar completamente el tanque o la balsa sin dañar el sistema durante la decantación o la extracción de los lodos. Esto agiliza y facilita el proceso de decantación, ya que los lodos se mezclan continuamente, incluso cuando el nivel del agua disminuye.

Es importante que se produzca una agitación intensiva para evitar la sedimentación en el fondo del tanque; si se produce una agitación deficiente, puede haber gradientes de oxígeno. Dado que el cuerpo agitador del sistema de agitación y aireación **HYPERCLASSIC**[®] se instala cerca del fondo del tanque, se evitan los gradientes de oxígeno y se crea un lodo homogéneo. El aire se genera desde el anillo dispersor situado debajo del cuerpo agitador.

Allí el aire escapa y se encuentra con la parte inferior del cuerpo agitador, que tiene una forma única y está equipada con túneles de dispersión y aletas de cizallamiento especiales. Al girar el cuerpo agitador, el aire de los túneles de dispersión se mezcla intensamente con el agua residual, lo que crea una disolución de burbujas entre gruesas y finas por acción de las aletas de cizallamiento. A continuación, el flujo principal transporta estas burbujas radialmente hacia el exterior y las distribuye por todo el tanque.

6. Aplicaciones en el mundo real

Con cualquier tecnología, las aplicaciones y los datos del mundo real demuestran si un sistema funciona. El sistema de agitación y aireación **HYPERCLASSIC**[®] se ha instalado en digestores de todo el mundo, acreditando ser una aplicación adecuada para la digestión aerobia cíclica. En Estados Unidos ha habido múltiples instalaciones de digestión aerobia con éxito en el proceso. Los digestores aeróbicos operativos más antiguos provistos de estos sistemas de agitación y aireación en Estados Unidos llevan funcionando desde 2006 en la EDAR de Jacksonville Beach (véase la fig. 4). Los digestores aeróbicos de Jacksonville Beach tratan hasta un 3 % de sólidos en tres tanques circulares y proporcionan una alimentación de calidad constante para su proceso de deshidratación de lodos. Los lodos tratados siguen cumpliendo eficazmente las normas de la clase B y los operadores están muy satisfechos con su elección y con el tratamiento de las aguas residuales resultante.



Figura 4: EDAR de Jacksonville, Florida

Hay otra instalación al otro lado del país, en Meridian, Colorado (véase la fig. 5). Allí tienen un sistema de laguna de digestión aerobia que se completó en 2020, con dos sistemas de agitación y aireación **HYPERCLASSIC**[®]. La empresa explotadora puede hacerlos funcionar a diferentes profundidades de agua con facilidad, y apenas se percibe ningún olor cuando se está directamente sobre el depósito o la balsa. Los lodos se tratan hasta un 2,5 % de sólidos con la mitad de capacidad que el diseño anterior. Esto ha contribuido a reducir los costes energéticos y a aumentar el rendimiento de los procesos.



Figura 5: EDAR de Meridian, Colorado

7. Summary

El proceso cíclico empleado en la digestión aerobia ha demostrado su eficacia tanto en la reducción de sólidos, como en la nitrificación. El sistema de agitación y aireación **HYPERCLASSIC**[®] de **INVENT** ha demostrado su idoneidad en instalaciones reales, incluso con altos porcentajes de sólidos. Gracias a la opción de conectar y desconectar el suministro de aire durante la agitación, el sistema ofrece flexibilidad a la empresa operadora y al propio proceso. La robustez y fiabilidad mecánica del sistema hacen que esta opción sea la mejor para digestores aeróbicos.

8. Bibliografía

Metcalf & Eddy Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Tsuchihashi, R., & Stensel, H. D. (2014). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery (5. Aufl.). McGraw-Hill Professional. 2014.

Schoenenberger, M., Shaw, J., & Redmon, D. (2003). Digester Aeration Design at High Solids Concentrations. Presentation at the 37th Annual Wisconsin Operators Association Conference.