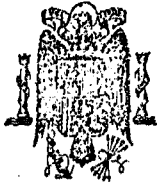


MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

Registro de la Propiedad Industrial



ESPAÑA

Concedido el Registro de acuerdo con los datos que figuran en la presente descripción y según el contenido de la Memoria adjunta.

19 ES	21	NUMERO	474.110	20 A1
	22	FECHA DE PRESENTACION	11-10-1978	

PATENTE DE INVENCION

474.110

40 PRIORIDADES:	42 FECHA	43 PAIS
41 NUMERO		
841.902	13-10-1977	EE.UU.
928.099	26-7-1978	"

47 FECHA DE PUBLICIDAD	51 CLASIFICACION INTERNACIONAL	62 PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
	C O L C	

64 TITULO DE LA INVENCION

"UN PROCEDIMIENTO DE DIGESTION DE LODO"

71 SOLICITANTE (S)

UNION CARBIDE CORPORATION (L-11234-2-SP)

DOMICILIO DEL SOLICITANTE

270 Park Avenue, Nueva York, Nueva York, 10017, EE.UU.

72 INVENTOR (ES)

Michael Stephen Gould, Ludislas Charles Matsch

73 TITULAR (ES)

74 REPRESENTANTE

DON ALBERTO DE ELZABURU MARQUEZ (P-70.079)

jga

POOR QUALITY

Esta invención se refiere en general a un procedimiento para la digestión en caliente de lodo, llevada a cabo bajo condiciones aerobias y anaerobias.

5 Con el crecimiento continuado de la industria y la población, los problemas asociados con el desecho de aguas residuales aumentan correspondientemente. Aun cuando han sido desarrollados sistemas de tratamiento físicos, químicos y biológicos que pueden tratar eficazmente aguas contaminadas produciendo un efluente adecuado para incor-  
10 porar a aguas naturales receptoras, casi todos los sistemas de tratamiento de aguas residuales básicos actualmente en uso, incluyendo clarificación, precipitación química, filtración biológica y lodo activado, convierten los contaminantes del agua en una forma concentrada denominada  
15 lodo. En particular en el procedimiento de lodo activado, que se encuentra entre los más populares de los sistemas de tratamiento de aguas residuales empleados convencionalmente, existe habitualmente una producción positiva neta significativa de sólidos volátiles en suspensión, (SSVM) es decir la velocidad de síntesis celular excede de la ve-  
20 locidad de destrucción celular. Por consiguiente se acumulan unas existencias crecientes de lodo y el lodo activado en exceso debe ser separado del proceso continuo o periódicamente.

25 Como los volúmenes globales de aguas residuales que requieren tratamiento aumenta, en particular bajo el ímpetu de legislaciones de control de la contaminación cada vez mas rigurosas, la cantidad de lodo residual producido mediante los procedimientos de tratamiento de aguas residuales antes citados aumenta correspondientemente. Por  
30

consiguiente, es muy deseable tratar este lodo residual de tal modo que pueda ser desechado fácil y económicamente sin ocasionar una contaminación ulterior de la ecosfera. Aun cuando se han consumido muchos esfuerzos en el desarrollo de mejoras en la tecnología del tratamiento de lodos así como en el refinamiento de procesos existentes de tratamiento de lodo, todavía existe una gran necesidad de sistemas de tratamiento de lodo mejores y más eficaces.

El objetivo básico de todos los procedimientos de tratamiento de lodo es que se reduzcan y estabilicen económica y eficazmente los sólidos del lodo. Además, el sistema de tratamiento de lodo debe obtener deseablemente a un producto final que sea totalmente adecuado para su eliminación final sin tratamiento físico o químico ulterior.

En la práctica convencional el desecho del lodo se lleva a cabo comúnmente o vertiéndolo en el oceano, o quemándolo, o rellenando tierra o esparciéndolo por tierra. En muchos casos se emplea el desecho en tierra y es especialmente interesante debido a los efectos mínimos sobre el medio ambiente a largo plazo. En efecto, la diseminación por tierra del lodo puede ser sumamente ventajosa para mejorar el reacondicionamiento del suelo. No obstante, el uso de la diseminación por tierra como método final de desecho de lodo, requiere un producto final bien pasterizado, de modo que la concentración de organismos patógenos en el lodo sea suficientemente baja para evitar un riesgo potencial para la salud al desechar el lodo.

Tradicionalmente, se han utilizado ampliamente tres distintos procedimientos para tratar lodo residual: estanques de oxidación, digestión anaerobia y digestión

erobio.

Los estanques de oxidación se emplean por lo general en forma de albercas excavadas en la tierra relativamente poco profundas, que se extienden a lo largo de una zona de tierra y retienen el agua residual antes de su desecho final. Tales estanques permiten la oxidación biológica de material orgánico mediante transferencia natural o acelerada artificialmente de oxígeno al agua desde el aire ambiente. Durante el proceso de bio-oxidación, los sólidos existentes en el agua residual son degradados biológicamente en alguna extensión y en último lugar sedimentan hacia el fondo del estanque, donde pueden hacerse anaerobios y ser estabilizados ulteriormente. Periódicamente el estanque puede ser desaguado y el lodo sedimentado dragado para renovar la capacidad volumétrica del estanque para el tratamiento de más aguas residuales y el lodo retirado se utiliza, por ejemplo, como relleno de suelos. Los estanques de oxidación representan, por tanto, un sistema funcionalmente sencillo para el tratamiento de aguas residuales y lodo. No obstante, el uso de estanques de oxidación tiene una utilidad limitada, ya que su operación requiere zonas de terreno considerables. Además, no tiene lugar mediante este tratamiento y este método de desecho una reducción significativa del nivel de gérmenes patógenos en el lodo.

La digestión anaerobia ha sido, en general, el procedimiento de digestión más extensamente usado para estabilizar sólidos orgánicos concentrados, tal como se retiran de depósitos de sedimentación, filtros biológicos e instalaciones de lodo activado. En la práctica común, el lodo en exceso se acumula en grandes cubas de digestión

con cubierta donde el lodo se hace fermentar anaerobismen-  
te durante 20-30 días. Las razones principales para la  
aceptación comercial de la digestión anaerobia del lodo son  
que este método es capaz de estabilizar grandes volúmenes  
5 de suspensiones orgánicas diluídas, da como resultado la  
baja producción de sólidos biológicos (biomasa), produce  
un lodo que puede privarse de agua con relativa facilidad,  
y es un productor de gas metano. Adicionalmente se ha afir-  
mado diversamente que la digestión anaerobia da lugar a un  
10 lodo pasterizado. Aun cuando esta capacidad de pasteriza-  
ción de la digestión anaerobia es dudosa, la digestión  
anaerobia se usa ampliamente en la práctica debido a que  
reduce el residuo sólido a una forma razonablemente esta-  
ble que puede ser desechada como relleno de suelos sin crear  
15 incomodidades sustanciales. La digestión anaerobia se lle-  
va a cabo característicamente en depósitos de gran tamaño  
que se mezclan más o menos a fondo, o bien por medios me-  
cánicos o reciclando gas del digestor comprimido. Tal me-  
zcla aumenta rápidamente las reacciones de estabilización  
20 del lodo, creando una zona grande de descomposición acti-  
va.

Según se ha indicado anteriormente, la diges-  
tión anaerobia ha sido practicada comúnmente con tiempos  
de retención largos del orden de 20 - 30 días, sin entra-  
25 da alguna de calor al sistema. Se ha encontrado mediante  
la técnica anterior que temperaturas elevadas en el inter-  
valo mesófilo de 30<sup>o</sup> a 40<sup>o</sup>C facilitan la disminución del  
requisito de tiempo de permanencia, a aproximadamente 12 -  
20 días. Tal reducción en tiempo de tratamiento es conse-  
30 cuencia del hecho de que el grado de actividad de los or-

ganismos responsables de la digestión viene influido en gran manera por la temperatura, y de que en el intervalo de temperatura de 30° a 40°C microorganismos mesófilos muy activos son las cepas microbianas dominantes en la digestión que sufre el lodo. Las mejores temperaturas para la digestión mesófila están comprendidas entre aproximadamente 35° y 38°C, con tiempos de retención mínimos del orden de 12- 15 días. Temperaturas de hasta 35°C hacen aumentar la velocidad de digestión y pueden permitir tiempos de permanencia más cortos, pero a expensas de la estabilidad de operación del sistema, mientras que temperaturas inferiores a 35°C requieren tiempos de permanencia más largos.

Se produce gas metano durante la digestión anaerobia y se usa característicamente en calentadores de combustión para compensar las pérdidas de calor del sistema de digestión anaerobia que opera a temperatura elevada. No obstante, variaciones y fluctuaciones de temperatura estacionales en el nivel de sólidos suspendidos del lodo que entra tienen un efecto significativo sobre la producción de gas metano y sobre la cantidad de calor que es necesario para mantener la zona de digestión en el nivel operatorio de temperatura elevada deseado. Como resultado, si han de mantenerse condiciones de temperatura elevada durante todo el año en la zona de digestión anaerobia, una fuente auxiliar de calor es en general un elemento de aparato esencial del sistema de digestión de lodo.

Ya que las velocidades de digestión anaerobia y la formación de gas metano resultante vienen influidas fuertemente por el contenido de sólidos suspendidos del lodo sometido a tratamiento y por el nivel de temperatura

5 en la zona de digestión, es deseable en general cargar al  
digestor un lodo tan concentrado como sea posible, redu-  
ciendo con ello al mínimo las pérdidas de calor en la co-  
rriente de lodo estabilizado efluente descargada del diges-  
tor anserobio al tiempo que se hace máxima la producción  
de metano en el digestor. No obstante, aun con tales pro-  
visiones temperaturas elevadas son difíciles de mantener  
económicamente en la zona de digestión anaerobia, en espe-  
cial durante los meses de invierno. Además, fluctuaciones  
10 de temperatura incluso relativamente pequeñas en la zona  
de digestión anaerobia pueden dar por resultado trastornos  
del proceso desproporcionadamente graves y agriamiento  
(acidificación) del contenido del digestor, como es bien  
sabido.

15 En el proceso de digestión anaerobia, los sólidos de lodo que están siendo tratados experimentan esencialmente tres fases de tratamiento sucesivas distintas:  
primeramente, un período de solubilización, en segundo lugar un período de producción intensa de ácido (acidificación) y, finalmente, un período de digestión intensa y de  
20 estabilización (gasificación). Cada una de estas etapas se caracteriza por la producción de diversos productos intermedios y finales en la zona de digestión. Bajo condiciones operatorias normales, las tres fases tienen lugar simultáneamente. Los gases primarios producidos durante la fase de  
25 gasificación final son metano y dióxido de carbono, que normalmente forman más del 95% del gas desprendido comprendiendo el metano de 65 a 70%. La producción de gas metano en la digestión anaerobia resulta de la rotura de muchos  
30 compuestos mediante numerosas reacciones bioquímicas inter-

dependientes, que tienen lugar de un modo ordenado e integrado. Las complejas especies orgánicas existentes en el lodo son convertidas por una diversidad de bacterias comunes denominadas formadoras de ácido, en ácidos volátiles y alcoholes sin producción de metano. Estos productos procedentes de la fase de formación de ácido se convierten después en gas metano mediante otra variedad de bacterias conocidas como formadoras de metano.

Las bacterias que forman ácido facultativas, utilizadas en la digestión anaerobia, son robustas y muy resistentes a los cambios del proceso en su medio ambiente. Por otra parte, las bacterias que forman metano requieren condiciones anaerobias y son extremadamente sensibles a cambios del proceso en su medio ambiente. Por tales razones, no debe encontrarse oxígeno en la zona de digestión anaerobia. La introducción inadvertida de aire en el digestor afecta adversamente a la fermentación metánica, así como también crea una situación potencialmente peligrosa debida a la combinación del gas metano combustible con oxígeno. Además, las bacterias que forman metano son sensibles a condiciones del proceso tales como variaciones de pH y presencia de detergentes, amoníaco y sulfuros. A este respecto, la estabilidad de temperatura de la zona de digestión anaerobia es especialmente importante. Los formadores de metano necesarios en el proceso de digestión son altamente susceptibles a fluctuaciones de temperatura, que hacen disminuir su actividad y viabilidad, dando como resultado un crecimiento relativo excesivo de formadores de ácido. Esto da por resultado a su vez un lodo estabilizado inadecuadamente y un producto de lodo que es inadecuado

sin tratamiento adicional, para el relleno de suelo o desecho similar. Además, estos formadores de metano tienen una velocidad de crecimiento relativamente baja y tal factor hace necesario los tiempos de permanencia largos empleados para la digestión anaerobia incluso a temperaturas mesófilas. Debido a esta baja velocidad de crecimiento, existe el peligro de sacar por lavado los organismos que forman metano del digestor si el tiempo de permanencia de los sólidos del lodo en él se reduce más allá de los límites inferiores del tiempo de permanencia anteriormente descritos. Como quiera que el digestor anaerobio requiere tiempos de permanencia largos para asegurar la presencia de formadores de metano adecuados y el caudal de lodo que entra en la zona de digestión es en general bastante bajo, las necesidades de depósitos para la digestión son muy grandes. La operación a temperatura elevada es por tanto difícil, requiriendo grandes entradas de calor al digestor juntamente con un control estricto del nivel de temperatura en el digestor. Como se ha discutido previamente, la técnica anterior, enfrentada con estas consideraciones, ha utilizado el metano producido mediante el proceso de digestión anaerobia como combustible de calentamiento para el digestor, y para mantener constante una temperatura elevada incluso bajo fluctuaciones extremas de la temperatura ambiente. Tal uso de metano ha probado su eficacia en la reducción al mínimo de los grandes requisitos de energía de calentamiento del proceso.

Como alternativa a los métodos anteriores, el lodo biodegradable puede ser digerido aeróbicamente. Se ha empleado aire comúnmente en la práctica como el oxidante

para este fin. Es sabido que la digestión aerobia tiene lugar más rápidamente a temperaturas elevadas. A medida que la temperatura se eleva de 35°C la población de microorganismos mesófilos disminuye y aumentan las formas termófilas. El intervalo de temperatura de 45° a 75°C se denomina habitualmente el intervalo termófilo, en donde predominan los termófilos y donde la mayor parte de los mesófilos se han extinguido. Por encima de este intervalo, los termófilos disminuyen y a 90°C, el sistema se hace esencialmente estéril. Debido a la más rápida oxidación del lodo, la digestión termófila consigue una más completa separación de sólidos suspendidos volátiles biodegradables que el mismo periodo de digestión a temperatura ambiente. Se obtiene un residuo más estable que puede ser desechado sin inconvenientes. También se ha establecido que la digestión termófila puede reducir eficazmente o eliminar las bacterias patógenas en el lodo, evitando con ello el riesgo potencial para la salud asociado con su desecho.

Cuando se usan sistemas de aire difundido para suministrar oxígeno para la digestión, haciéndose pasar el aire a través del cuerpo de lodo en un depósito de digestión y se expulsa libremente a la atmósfera, la pérdida de calor desde el lodo al aire que se está haciendo pasar a través del digestor tiende a llegar a ser de magnitud apreciable. Como resultado, la digestión aerobia usando aire ha llevado consigo típicamente hasta la fecha la digestión con microorganismos mesófilos. En general no se emplean sistemas de aire para llevar a cabo la digestión termófila a menos que se encuentre disponible fácilmente un nivel sustancial de energía de calentamiento para mantener la

temperatura del lodo en el digestor, en el intervalo termófilo. Tal situación puede existir, por ejemplo, si el sistema de digestión está situado en estrecha proximidad física a una instalación generadora de energía que produzca una gran cantidad de calor residual, de modo que tal energía térmica sea en esencia "gratis" para usar en el dispositivo de digestión. El aire sólo contiene 21% de oxígeno y sólo aproximadamente de 5 a 10% del contenido de oxígeno del mismo se disuelve. Como resultado, debe usarse una cantidad de aire muy grande para suministrar los requisitos de oxígeno y el calor sensible del aire "agotado" y el calor latente requerido para saturar el aire agotado con vapor de agua son sustanciales. Como resultado de estas pérdidas de calor en digestión con aire los efectos del calor autotérmico son generalmente menores, y se necesitan cantidades muy grandes de calor exterior para sostener las temperaturas en niveles beneficiosos.

Es sabido que las pérdidas de calor en la digestión aerobia pueden reducirse en gran manera usando gas enriquecido en oxígeno en vez de aire. Si el oxígeno se utiliza eficazmente, la cantidad de gas que debe cargarse y expulsarse desde el digestor es considerablemente más pequeña en comparación con el aire debido a que mucho o todo el nitrógeno ha sido separado con anterioridad. Las pérdidas de calor debidas al calentamiento sensible del gas y a la evaporación de agua en el gas disminuyen. Estas reducciones en pérdidas de calor son suficientes para que el calor autotérmico solo, sostenga la temperatura en niveles apreciablemente mayores que el del ambiente, de modo que la zona de digestión es capaz de operar eficazmente

en el régimen de temperatura termófila con pequeña entrada o sin entrada de calor externo al proceso, puesto que la estabilización termófila es mucho más rápida que la estabilización mesófila, y el tiempo de permanencia necesario en la zona de digestión aerobia se reduce grandemente en el modo termófilo. Esto a su vez permite el uso de estanques más pequeños lo que reduce adicionalmente las pérdidas de calor hacia las zonas circundantes. Debido a la mayor velocidad de oxidación del lodo, la digestión aerobia termófila puede conseguir una reducción adecuadamente alta de sólidos volátiles biodegradables, como por ejemplo, niveles de reducción de 80-90%, en períodos de permanencia del lodo relativamente cortos, del orden de 3 a 10 días.

A pesar de su atractivo sustancial, la digestión aerobia termófila tiene varias desventajas asociadas, con relación a la digestión erobia. En primer lugar, puesto que el procedimiento de digestión aerobia termófila es de carácter oxidante, el procedimiento da lugar a un gas, como producto de la reacción de biooxidación, que contiene dióxido de carbono y vapor de agua que no tienen utilidad de uso final sino que más bien son deseablemente expulsados a la atmósfera. En contraposición, la digestión anaerobia produce gas metano como sub-producto de la reacción que puede ser exportado desde la instalación de tratamiento y es útil también como gas combustible para satisfacer los requisitos de energía de calentamiento asociados con la digestión a temperaturas elevadas. Además, la zona de digestión aerobia requiere un consumo de energía mucho mayor, para mezclar y poner en contacto gas y

30

06118

lodo, del que se requiere en el sistema de digestión anaerobia para mezclar el contenido del digestor.

Por consiguiente, es un objeto de la presente invención proporcionar un procedimiento mejorado de digestión de lodo.

Brevemente, el procedimiento de digestión de lodo de esta invención comprende introducir el lodo y gas de alimentación de aireación que comprende por lo menos 20 por ciento de oxígeno (en volumen), en una primera zona de digestión y mezclarles en ella en cantidad y con velocidad suficientes para la digestión aerobia del lodo al tiempo que se mantiene el contenido de sólidos en suspensión totales (SSLM) del lodo por lo menos en 20.000 mg/litro y la temperatura del lodo entre 35° y 75°C en la primera zona de digestión.

La digestión aerobia anterior se continúa durante un tiempo de permanencia del lodo (duración) entre 4 y 48 horas para reducir parcialmente el contenido de sólidos suspendidos volátiles biodegradables del lodo introducido en la primera zona de digestión, descargando lodo parcialmente estabilizado de la primera zona de digestión. Este lodo descargado parcialmente estabilizado se somete luego a digestión anaerobia en una segunda zona de digestión cubierta mientras se mantiene la temperatura del lodo en ella entre 25° y 60°C durante un tiempo de permanencia del lodo (duración) suficiente para reducir adicionalmente el contenido de sólidos suspendidos volátiles biodegradables del lodo a menos de aproximadamente el 40% del contenido de sólidos suspendidos volátiles biodegradables del lodo introducido en la primera zona de diges-

tión, y formar gas metano. El lodo estabilizado adicionalmente y el gas metano son descargados desde la segunda zona de digestión.

5 Tal y como se usa en esta Memoria, el término "lodo" significa una mezcla de sólidos y líquido caracterizada por una fase sólida y una fase líquida asociada, en la que los sólidos son, por lo menos, parcialmente biodegradables, es decir, capaces de ser disgregados por la acción de microorganismos vivos. Los lodos biodegradables se caracterizan por lo general según su contenido de sólidos en suspensión volátiles biodegradables (SSVB) y también por su contenido de sólidos en suspensión volátiles (SSV), incluyendo éste último parámetro tanto sólidos en suspensión volátiles biodegradables como no biodegradables. Tal y como se usa en esta Memoria, "contenido de sólidos en suspensión volátiles biodegradables" es esencialmente la reducción máxima de sólidos que puede conseguirse mediante digestión aerobia del lodo, llevada a cabo por aireación del lodo con un gas que contiene oxígeno, a temperatura ambiente, por ejemplo de 20°C. Se supone que la máxima reducción de sólidos se alcanza después de 30 días de aireación. Las especificaciones de tal determinación están contenidas en "Water Pollution Control", Eckenfelder W.W. y Ford, D.L., The Pemberton Press, 1970, página 152. Determinando los niveles de VSS del lodo nuevo y otra vez después de una aireación de 30 días, la fracción biodegradable del total de SSV puede calcularse así:

$$\frac{\text{SSV (Nuevo)} - \text{SSV (30 días)}}{\text{SSV (nuevo)}}$$

30

06118

Como se usa en esta Memoria "contenido de sólidos en suspensión volátiles" de un lodo, significa el contenido volátil de los sólidos del lodo determinado según los ensayos 224A y 224B que figuran en "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", Décimotercera Edición (1971), publicado conjuntamente por American Public Health Association, American Water Works Association, y Water Pollution Control Federation, páginas 535-536. La expresión "lodo estabilizado" se refiere a lodo que posee un contenido de sólidos en suspensión volátiles biodegradables reducido después de y como resultado del tratamiento de digestión. "Tiempo de permanencia de lodo" como se usa en esta Memoria significa el tiempo medio de duración en que el lodo está contenido en una zona de digestión, dada, calculado por la fórmula siguiente:

$$\tau = \frac{V_d}{Q_s}$$

en la que  $\tau$  = tiempo de permanencia de lodo (días u horas);

$V_d$  = volumen de lodo en la zona de digestión, sometido a tratamiento ( $m^3$ ); y

$Q_s$  = Caudal volumétrico del lodo alimentado a la zona de digestión ( $m^3/día$ , o  $m^3/hora$ ),

Como se usa en esta Memoria, la expresión "digestión aerobia" significa la biodegradación de sólidos de lodo, llevada a cabo bajo la acción de microorganismos aerobios. Tal modo de digestión requiere que se disuelva oxígeno en la fase líquida del lodo, de modo que sea accesible para los microorganismos del lodo, en cantidad y con velocidad suficientes para que se cumplan las necesi-

dades de oxígeno de la biodegradación. Como se usa aquí, la frase "mezclar lodo y gas de alimentación de aireación en cantidad y con velocidad suficientes para la digestión aerobia del lodo" significa o bien oxigenación del lodo a una velocidad igual por lo menos al 10% de la velocidad de captación de oxígeno específica (VCOE), determinada mediante el procedimiento indicado más adelante en esta Memoria, u oxigenación de lodo con las cantidades relativas de gas de alimentación de aireación y lodo, y siendo suficiente la velocidad de aireación para obtener la utilización de por lo menos 0,03 kg de oxígeno por kg de sólidos en suspensión volátiles, en el lodo introducido en la primera zona de digestión, o cualquier cuantificación alternativa adecuada del lodo/gas de alimentación aireación de la etapa de contacto, que sea suficiente para asegurar la existencia de digestión aerobia en la primera zona de digestión, según la definición de digestión aerobia indicada antes en esta memoria.

En términos de la velocidad de captación de oxígeno específica, los requisitos necesarios de oxigenación del lodo para la digestión aerobia pueden ser fijados adecuadamente según el procedimiento siguiente, que es fácilmente adaptable como un método a escala de Laboratorio de identificar la demanda de oxígeno del lodo. El lodo que ha de ser tratado se hace fluir a través de un recipiente de ensayo a pequeña escala con un caudal volumétrico suficiente para obtener el tiempo de permanencia de lodo previamente determinado, seleccionado para la operación de digestión aerobia, que para la etapa de digestión aerobia de la presente invención está comprendido entre

4 y 48 horas, al tiempo que se pone en contacto el lodo con un gas de aireación que contiene por lo menos 50 por ciento de oxígeno (en volumen). La aireación se lleva a cabo de modo que se mantenga una concentración de oxígeno disuelto (O.D.) de por lo menos 2 mg/litro en el lodo, medido mediante cualquier prueba de O.D. adecuada de tipo convencional. Durante la aireación se mantiene el lodo en el recipiente de ensayo en la temperatura previamente determinada seleccionada para la digestión de operación aerobia, que para la etapa de digestión aerobia de la presente invención está comprendida entre 35° y 75°C. El tratamiento anterior de ensayo de lodo, que puede requerir dilución del lodo que entra en el recipiente de ensayo con agua corriente con objeto de obtener el nivel requerido de O.D. de por lo menos 2 mg/litro, se efectúa hasta que se consigue una operación en estado estacionario, lo que puede requerir un periodo ampliado de operación del sistema de ensayo como, por ejemplo, del orden de 5 a 7 días.

Una vez conseguida la operación en estado estacionario en el sistema de ensayo, se retira un volumen de muestra medido de lodo del recipiente de ensayo, y mientras se mantiene a la misma temperatura que la previamente existente en el recipiente de ensayo, se airea rápidamente, como por ejemplo mediante agitación intensa, poniendo en contacto el lodo con gas de aireación que contiene por lo menos 50 por ciento de oxígeno (en volumen), para elevar el nivel de O.D. del lodo aireado a aproximadamente 7,0 mg/litro. En el punto en que el nivel de O.D. de aproximadamente 7,0 mg/litro es alcanzado, se termina la aireación del volumen de lodo de muestra. Después de esto,

durante la disminución subsiguiente del nivel de O.D. en el lodo desde el valor de aproximadamente 7,0 mg/litro que existe a la terminación de la aireación, hasta un nivel de O.D. sustancialmente despreciable, se mide el tiempo necesario para que el O.D. descienda desde un valor de 6,0 mg/litro hasta 1,5 mg/litro. La velocidad de captación de oxígeno (VCO) del volumen de muestra de lodo se calcula después dividiendo el cambio del nivel de O.D. durante el período de medida, es decir 4,5 mg/litro (=6,0 mg/litro - 1,5 mg/litro), por el tiempo requerido para que el nivel de O.D. descienda desde 6,0 mg/litro a 1,5 mg/litro. Del valor de la VCO resultante, se calcula la velocidad de captación de oxígeno específica (VCOE) dividiendo el valor de VCO, que tiene unidades de mg/litro/tiempo, por la concentración de sólidos del volumen de muestra de lodo, en mg/litro. El valor de VCOE así calculado tiene unidades de mg de oxígeno/tiempo/mg de sólidos.

Basado en el cálculo anterior del parámetro VCOE para el lodo que ha de tratarse, pueden establecerse la cantidad y la velocidad de transferencia de oxígeno desde el gas de aireación que contiene oxígeno al lodo en la etapa de digestión aerobia del presente procedimiento. Con objeto de satisfacer los requisitos de respiración (consumo de oxígeno) del lodo para la digestión aerobia, basados en consideraciones de obtener una estabilización adecuada del lodo en la etapa de digestión aerobia antes de la etapa de digestión anaerobia subsiguiente, la oxigenación del lodo en la primera zona de digestión en el procedimiento presente debe ser llevada a cabo a una velocidad que sea igual por lo menos al 10% del valor de

VCOE calculado empíricamente. En la práctica preferida, tal oxigenación del lodo debe ser llevada a cabo a una velocidad que sea igual por lo menos al 50% del valor VCO calculado empíricamente.

5                    Alternativamente, basándose en consideraciones de la cantidad de oxígeno que se necesita para biodegradar una cantidad unitaria de sólidos en suspensión volátiles en un lodo dado, determinada para lodos de diversas características, la mezcla de lodo y gas de alimentación de aireación que contiene oxígeno para llevar a cabo la digestión aerobia en la primera zona de digestión en el procedimiento presente, debe efectuarse con las cantidades relativas de gas de alimentación de aireación y lodo, y la velocidad de aireación debe ser suficiente para obtener una utilización, es decir una captación por el lodo, de por lo menos 0,03 kg de oxígeno por kg de sólidos en suspensión volátiles en el lodo introducido en la zona de digestión aerobia. El valor mínimo de tal relación de contacto va asociada con un nivel umbral de digestión aerobia que es necesario para asegurar una estabilización adecuada del lodo en la primera etapa de digestión del presente procedimiento antes de la etapa subsiguiente del mismo de digestión anaerobia. Como cuestión práctica, es deseable en general efectuar la oxigenación del lodo siendo suficientes las proporciones relativas de lodo y gas de alimentación de aireación y la velocidad de aireación para obtener la utilización por el lodo de 0,1 a 0,35 kg de oxígeno por kg de sólidos en suspensión volátiles en el lodo introducido en la zona de digestión aerobia. Tales relaciones de contacto de gas a lodo permiten gene-

ralmente que el contenido de sólidos en suspensión volátiles del lodo introducido en la primera zona de digestión en el procedimiento presente sea reducido aerobiamente desde aproximadamente 5 a 20% en la primera zona de digestión. En general, el contenido de sólidos en suspensión volátiles del lodo que entra en la zona de digestión aerobia es reducido deseablemente en, por lo menos, 5% en ella, con objeto de producir un lodo estabilizado parcialmente de modo suficiente, para pasar a la etapa subsiguiente de digestión anaerobia. Tal nivel mínimo de estabilización parcial es particularmente deseable para que la etapa de digestión aerobia sea adecuadamente "amortiguada" por la etapa de digestión aerobia contra las perturbaciones del proceso, que derivan de los cambios en el carácter del lodo que entra en el sistema general del proceso. Por otra parte, la reducción del contenido de sólidos en suspensión volátiles del lodo alimentado introducido en la zona de digestión aerobia, en el curso del tratamiento en tal zona, se mantiene deseablemente en un nivel de aproximadamente 20% o menos, con objeto de realizar completamente las ventajas sinérgicas de esta invención. Tales ventajas son analizadas más completamente más adelante en esta Memoria e incluyen una producción neta inesperadamente alta de gas metano procedente de la segunda etapa de digestión anaerobia, con respecto a un sistema de proceso de digestión anaerobia convencional. Como balance de las consideraciones anteriores, la operación de mezcla de gas de alimentación de aireación y lodo en la primera zona de digestión debe ser llevada a cabo del modo más preferible siendo suficientes las cantidades relati-

vas de gas de alimentación de aireación y lodo y velocidad de aireación para obtener la utilización por el lodo de una cantidad comprendida entre 0,15 y 0,25 kg de oxígeno por cada kg de sólidos en suspensión volátiles en el lodo introducido en la primera zona de digestión.

Tal y como se usa en esta memoria, la expresión "digestión anaerobia" significa la biodegradación de sólidos de lodo llevada a cabo en ausencia de oxígeno libre.

La presente invención se basa en el descubrimiento sorprendente de que una zona de digestión aerobia que opera en el régimen de temperatura termófilo o cercano al termófilo, puede ser integrada ventajosamente con una zona de digestión anaerobia aguas abajo para proporcionar la digestión parcial de lodo en cada una de las zonas sucesivas, y que tal integración proporciona una mejora sustancial del procedimiento más allá de lo que podría esperarse basándose en la consideración de las etapas de digestión respectivas en el proceso de tratamiento tomadas por separado, como se muestra más completamente más adelante.

La técnica anterior no ha buscado el combinar a temperatura elevada digestión aerobia y anaerobia del lodo del modo contemplado por la presente invención por numerosas razones. En primer lugar, la instalación de depósitos asociada con el proceso de digestión anaerobia, como se ha discutido anteriormente aquí, es sumamente grande y se ha encontrado necesario producir grandes cantidades de metano para actuar como combustible de calentamiento y asegurar la operación económica de los enormes depósitos de digestión. La combinación de un digestor anaerobio con una etapa de digestión aerobia podría, por tanto, parecer indeseable

debido a consideraciones de necesidades globales de depósitos para el proceso combinado, que podría esperarse fueran mayores que la instalación de depósitos asociada con cualquiera de ambos procesos de digestión solos. Tal combinación aparece así, como simplemente para duplicar las funciones normalmente asociadas con cada uno de los procesos de digestión aerobio y anaerobio, a un coste de equipo aumentado sin el beneficio esperado en la eficacia del tratamiento.

Además, la combinación de un digestor anaerobio con una etapa de digestión aerobia podría parecer indeseable debido a la incapacidad esperada de la etapa de digestión anaerobia para proporcionar sólo un tratamiento digestivo parcial del lodo en el sistema combinado, a niveles del tiempo de permanencia de lodo inferiores a los largos tiempos de permanencia característicos de los digestores anaerobios que operan solos. Como se ha analizado anteriormente en esta memoria, son necesarios tiempos de retención largos en la etapa de digestión anaerobia para obtener una eficaz producción de metano y estabilización del lodo. Si fueran reducidos los tiempos de permanencia anaerobios por debajo de su nivel de tratamiento total en un proceso de digestión combinado aerobio/anaerobio, para asegurar sólo una digestión parcial en la etapa anaerobia, podría esperarse un agotamiento excesivo de los formadores de metano en el corto tiempo de permanencia de la etapa anaerobia, por pérdida de estas especies que se desarrollan lentamente en el efluente del digestor, con la inadecuación resultante de la estabilización de lodo en el proceso combinado.

Además de las razones anteriores, el sistema de digestión combinado aerobio/anaerobio podría parecer desventajoso desde el punto de vista de la estabilidad de operación, ya que cada una de las etapas de digestión aerobia y anaerobia sola requiere un control estricto de la temperatura de operación cuando se opera a niveles elevados de temperatura, de modo que el acoplamiento de los dos procesos respectivos podría parecer que requeriría un control de temperatura todavía más estricto con un potencial de efectos adversos aumentados de la inestabilidad de la temperatura y de la fluctuación de ésta.

Finalmente, un sistema de digestión combinado aerobio/anaerobio podría parecer desventajoso basado en una consideración de transporte potencial de oxígeno disuelto residual desde la etapa aerobia aguas arriba al segmento del proceso anaerobio aguas abajo. Como se ha indicado anteriormente aquí, las bacterias que forman metano presentes en la zona de digestión anaerobia son de carácter estrictamente anaerobio y son sumamente sensibles a cambios en su medio ambiente. Está bien establecido que cualquier introducción significativa de oxígeno en la zona de digestión anaerobia puede afectar adversamente a la estabilización de lodo por formación de metano y crea el peligro de desprendimiento de oxígeno desde el líquido a la fase gaseosa que contiene metano y la formación en el digestor de una mezcla gaseosa combustible.

En contraste con el comportamiento antes anticipado, se ha encontrado inesperadamente que el despliegue de una zona de digestión aerobia termófila o casi termófila aguas arriba de una zona de digestión anaerobia

a temperatura mesófila o termófila y la operación de estas zonas respectivas según el procedimiento de la presente invención, no sólo proporciona un sistema de tratamiento de lodo operable y económico sino que da como resultado un sistema de digestión con mejoras únicas del proceso global con respecto a los procedimientos de la técnica anterior, debido al sinergismo que se consigue entre los segmentos de digestión aerobia y anaerobia del presente procedimiento. Por ejemplo, el procedimiento de la presente invención es capaz de proporcionar una estabilidad de operación térmica en el sistema global de digestión de lodo que no es posible conseguir en cualquiera de las dos etapas constituyentes actuando solas. Además, el procedimiento de digestión integrado según la presente invención produce un lodo altamente estabilizado a pesar de una reducción acusada en el tiempo de permanencia del lodo durante el proceso global más allá de lo que podría esperarse, basándose en los requisitos del tiempo de permanencia aditivo anticipado para las etapas de digestión parcial constituyentes. Es particularmente sorprendente a este respecto el descubrimiento de que la zona de digestión anaerobia en este procedimiento es capaz de operar a niveles del tiempo de permanencia del lodo sustancialmente inferiores a los que son necesarios para el tratamiento de estabilización total del lodo en los digestores anaerobios convencionales que operan solos, y que tal operación se consigue sin pérdida de utilidad o eficacia de tratamiento tal como podría esperarse. Como ejemplo de tiempos de permanencia empleados adecuadamente bajo la invención, un sistema de planta piloto que incorpora el procedimiento presente ha sido operado satis-

5

10

15

20

25

30

06118

factoriamente con un tiempo de permanencia de lodo en la primera etapa aerobia de 24-48 horas y un tiempo de permanencia en la segunda etapa anaerobia tan bajo como 4 - 5 días. Las ventajas anteriores son conseguidas en la presente invención junto con una reducción sustancial en los requisitos de depósitos del sistema en lo que respecta a un sistema de digester anaerobio convencional, pero con retención de una porción inesperadamente grande de la capacidad de producción de metano del digester anaerobio convencional tomado solo, como se mostrará con mayor detalle más adelante. Sin embargo, a título de ejemplo, el sistema de la presente invención puede emplear aproximadamente el 60% de la capacidad de depósitos requerida por los sistemas de digestión anaerobia de la técnica anterior, reteniendo todavía aproximadamente el 75% de la capacidad de producción de metano en esta última. El procedimiento presente proporciona una producción sustancialmente mayor de metano del necesario para las necesidades de combustible de calentamiento para el proceso, con el resultado de que se encuentra disponible para exportar desde la instalación de digestión de lodo una cantidad de gas de alto contenido de metano, mayor de la relativa al sistema de digestión anaerobia de la técnica anterior. Finalmente no se ha encontrado que tenga lugar en el presente procedimiento transporte apreciable de oxígeno desde la primera zona de digestión a la fase gaseosa de la segunda zona de digestión.

Las razones de las ventajas inesperadas de esta invención, como se ha descrito antes, no son totalmente entendidas. Es probable, sin embargo, que la ausencia de transporte significativo de oxígeno desde la primera zona

de digestión a la segunda sea debido a la velocidad de captación de oxígeno inesperadamente alta del lodo en la primera zona de digestión, lo que sirve para agotar rápida y totalmente el contenido de oxígeno disuelto en el lodo que pasa desde la primera a la segunda zona de digestión, antes de que puede ocurrir un desprendimiento apreciable de oxígeno disuelto a la fase gaseosa en la segunda zona de digestión. Los tiempos de permanencia de lodo sorprendentemente bajos en el presente procedimiento, en particular en la etapa de digestión anaerobia, junto con la característica estabilidad térmica del procedimiento y la capacidad de producción de metano inesperadamente alta de la etapa anaerobia, puede ser una consecuencia de una aclimatación química o biológica del lodo y los microorganismos en la zona de digestión aerobia, lo que proporciona una mejora de la eficacia de la etapa de tratamiento aerobio subsiguiente. No obstante, los inventores no desean vincularse a una teoría particular a modo de explicación de tales características de comportamiento, y, por consiguiente, lo que antecede no debe interpretarse como limitación en modo alguno en lo que respecta a la presente invención, sometida solamente a las etapas y características esenciales descritas y reivindicadas aquí.

La Figura 1 es un diagrama de flujo esquemático de un procedimiento de digestión según una realización de la presente invención, en donde se recupera calor de las corrientes de efluente de cada una de las primera y segunda zonas de digestión.

La Figura 2 es un diagrama de flujo esquemático según otra realización de la invención, en el que se

utiliza gas de digestión agotado en oxígeno, descargado de una primera zona de digestión cubierta, en el tratamiento secundario de oxigenación de agua que contiene DBO.

5 La Figura 3 es un diagrama de flujo esquemático según otra realización de la invención en donde se hacen pasar a las zonas de digestión de lodo, lodos procedentes de las etapas de tratamiento de agua residual primaria y secundaria.

10 La Figura 4 es una gráfica que representa en ordenadas la temperatura (°C) del lodo de entrada a la primera zona de digestión que es necesaria para mantener una temperatura de operación de 50°C en la primera zona de digestión, y en abscisas el contenido en % de sólidos en suspensión totales (SSLT) del lodo de entrada a la primera zona de digestión.

15 La Figura 5 es un diagrama de flujo esquemático de todavía otra realización de la invención en donde una porción menor del lodo de entrada al sistema del procedimiento se desvía a la segunda zona de digestión.

20 Haciendo referencia ahora a la Figura 1, se muestra un diagrama de flujo esquemático de un procedimiento según una realización de la presente invención, tal como es adecuada para el tratamiento de lodo con una primera etapa de digestión, aerobia termófila o casi termófila, seguida de digestión anaerobia mesófila. Lodo, que puede proceder de una fuente tal como un depósito de sedimentación primario, el clarificador de una instalación de tratamiento de agua residual con lodo activado, o un filtro de escurrimiento, o de cualquier otro sistema productor

25

30 de lodo, entra en el proceso por el conducto 8 y seguida-

mente se calienta en los cambiadores de calor 22 y 15, por ejemplo a una temperatura de 30° - 35°C, antes de introducir en la primera zona de digestión 10, para mantener la temperatura en la zona comprendida entre 35° y 75°C, y preferiblemente en el intervalo termófilo de 45° a 75°C. El lodo a temperatura ambiente en el conducto 8 se calienta primeramente en el cambiador de calor 22 por paso del lodo en relación de flujo en contracorriente con cambio de calor indirecto con el lodo estabilizado adicionalmente descargado de la segunda zona de digestión cubierta 20 por el conducto 24. De este modo se recupera calor del lodo estabilizado adicionalmente y el lodo estabilizado enfriado resultante se descarga desde el cambiador de calor 22 y se hace salir del sistema en el conducto 25 a su destino final o a otro uso final.

El lodo estabilizado adicionalmente que entra en el cambiador de calor 22 en el conducto 24 puede estar adecuadamente a una temperatura de 35° - 40°C de modo que el lodo de entrada que sale del cambiador de calor por el conducto 9 se calienta a una temperatura de 28° a 30°C. Desde el conducto 9 el lodo de entrada parcialmente calentado se calienta adicionalmente en el cambiador de calor 15 a una temperatura de 30° a 35°C mediante intercambio de calor indirecto por flujo en contracorriente con el lodo estabilizado parcialmente descargado de la primera zona de digestión 10 por el conducto 14 y se hace pasar desde el cambiador de calor por el conducto 16 a la segunda zona de digestión 20.

Como alternativa al intercambio de calor antes descrito con las corrientes de producto de lodo procedentes

de las zonas de digestión respectivas, el lodo de entrada puede ser calentado antes de su introducción en la primera zona de digestión mediante intercambio de calor indirecto con un medio de calentamiento adecuado, suministrado exteriormente, tal como vapor de agua o agua caliente, aun cuando se prefiera la recuperación de calor desde las corrientes de productos de las zonas de digestión calientes, ya que ello sirve eficazmente para conservar el calor dentro del proceso y reducir al mínimo los requisitos de energía de calentamiento. Aun cuando el calentamiento del lodo de entrada antes de su introducción en la primera zona de digestión no es esencial en la práctica amplia de la presente invención, puede ser deseable en la práctica hacer máxima la eficacia térmica del procedimiento a temperatura elevada. El deseo de tal calentamiento del lodo, como se analizará más ampliamente más adelante, depende del contenido de sólidos del lodo de entrada, del tiempo de permanencia del lodo en la zona de digestión aerobia y de otros parámetros del procedimiento.

El lodo calentado adicionalmente descargado desde el intercambiador de calor 15 por el conducto 11 se introduce en la primera zona de digestión 10 junto con gas de alimentación de aireación desde el conducto 17 como los fluidos del proceso para la primera etapa de digestión.

El gas de alimentación de aireación en el conducto 17 comprende como mínimo por lo menos 20 por ciento de oxígeno (en volumen), prefiriéndose un gas de alimentación de aireación con por lo menos 50 por ciento y deseablemente por lo menos 80 por ciento de contenido de oxígeno (en volumen), con objeto de proporcionar una fuerza motriz de

transferencia de masa y una velocidad de disolución de oxígeno adecuadamente elevadas en el lodo, a las altas temperaturas del lodo en la primera zona de digestión consideradas en la presente invención. El conducto 17 está conectado a una fuente de gas de alimentación de aireación que contiene oxígeno (no mostrada) que puede comprender, por ejemplo, medios de suministro de aire comprimido o, si el gas de alimentación de aireación, tiene, como se prefiere, un alto contenido de oxígeno, la fuente del mismo puede comprender adecuadamente una instalación o un recipiente de suministro de oxígeno criogénico, o una unidad de separación de aire de adsorción oscilante a presión adiabática, como se encuentran disponibles convencionalmente como medios de fuente de suministro de gas enriquecido en oxígeno. Como se muestra, el gas de alimentación de aireación que contiene oxígeno, en el conducto 17, puede ser calentado también por el calentador 19 para ayudar a mantener la temperatura en la zona de digestión 10 en el nivel deseado del procedimiento. En la práctica general de la presente invención, puede emplearse adecuadamente aire u otro gas de alimentación de aireación de bajo contenido de oxígeno, es decir 20-50 por ciento de oxígeno en volumen, cuando no se requiere calentamiento auto-térmico del lodo en la zona de digestión aerobia para mantener la temperatura del lodo en ella en el intervalo requerido de 35° a 75°C, tal como cuando se encuentra disponible para el calentamiento del lodo una fuente grande de energía calorífica suministrada exteriormente, para mantener la alta temperatura requerida en la zona de digestión aerobia. Como se ha mencionado anteriormente en esta memoria, las pérdidas de calor con

aire (u otro gas de alimentación de aireación de bajo contenido de oxígeno) tienden a ser muy grandes, de modo que se prefiere un gas de alimentación de aireación de por lo menos 50 por ciento y deseablemente de por lo menos 80 por ciento de contenido de oxígeno (en volumen), con objeto de favorecer el calentamiento autotérmico del lodo en la zona de digestión aerobia al tiempo que se reduce al mínimo la cantidad de gas de digestión agotado en oxígeno que se desperdicia de tal zona de digestión y que por otra parte transporta energía térmica fuera del sistema del procedimiento. Además, se prefiere un gas de alimentación de aireación de alto contenido de oxígeno, es decir, que contiene al menos 50% de oxígeno (en volumen), con objeto de aumentar la extensión de transferencia de masa de oxígeno desde el gas de alimentación de aireación al lodo durante la digestión aerobia y facilitar con ello una acción digestiva aerobia más intensa de la que puede conseguirse con un gas de alimentación de aireación de bajo contenido de oxígeno. Independientemente de si se emplea en la zona de digestión aerobia del procedimiento presente gas de alimentación de aireación de alto contenido de oxígeno o de bajo contenido de oxígeno (según se ha definido antes), se prefiere por lo general proporcionar la zona de digestión aerobia con una cubierta para formar un espacio gaseoso sobre el lodo contenido en ella desde la que puede ser expulsado a la atmósfera gas de digestión residual agotado en oxígeno. Tal disposición permite una expulsión controlada a la atmósfera de gas residual, como por ejemplo mediante un pequeño conducto de expulsión que atraviesa la cubierta y comunica el espacio gaseoso con el medio ambiente gaseoso

externo, favoreciendo con ello la retención de calor en la zona de digestión aerobia con relación a una zona sin cubierta en donde se deja pasar libremente, en masa, gas de aireación agotado en oxígeno desde el volumen de lodo que se está tratando al medio ambiente gaseoso externo, es decir, la atmósfera ambiente. Además, cuando se emplea en la zona de digestión aerobia gas de alimentación de aireación de alto contenido de oxígeno, puede ser deseable proporcionar una cubierta para la zona de digestión para formar un espacio gaseoso desde el que puede hacerse recircular el gas de aireación que contiene oxígeno contra el lodo, como por ejemplo, mediante recirculación de gas desde el espacio gaseoso de la parte superior a un dispositivo burbujeador sumergido, o en el que el lodo puede hacerse recircular contra el gas de aireación, como por ejemplo por medio de un dispositivo de aireación superficial. Tales dispositivos de gas de aireación o de recirculación de lodo permiten realizar la etapa de digestión aerobia con alta utilización del contenido de oxígeno en el gas de alimentación de aireación introducido en la zona de digestión aerobia.

En la zona de digestión aerobia 10, se mezclan los fluidos del lodo y del gas de alimentación de aireación. Si la zona de digestión 10 está provista de una cubierta y se emplea gas de alimentación de aireación de alto contenido de oxígeno, uno de los fluidos del lodo y del gas de alimentación de aireación puede hacerse recircular deseablemente, como se ha indicado antes, y simultáneamente con la mezcla, contra el otro fluido, en la zona de digestión, en cantidad y con velocidad suficientes para la di-

gestión aerobia del lodo al tiempo que se mantiene el contenido de sólidos en suspensión totales (SSTM) del lodo por lo menos en 20.000 mg/litro. Tal mezcla y recirculación de fluido se efectúa adecuadamente por los medios de contacto 12 que pueden comprender en la práctica un tubo burbujeador de turbina sumergido y un compresor de gas, acoplándose este último al espacio por encima del gas en la zona de digestión y al tubo burbujeador de gas, para la recirculación del gas de aireación que contiene oxígeno contra el lodo, o, alternativamente, los medios de contacto pueden comprender un dispositivo de aireación superficial para hacer recircular lodo contra el gas de aireación en el espacio sobre el gas de la zona de digestión 10. La recirculación de uno de los fluidos del lodo y del gas de aireación contra el otro fluido en la zona de digestión aerobia puede, como se ha indicado antes, ser deseable en la práctica, cuando se emplea un gas de alimentación de aireación con alto contenido de oxígeno con objeto de obtener altos niveles de disolución de oxígeno en el lodo y alta utilización del oxígeno contenido en el gas de alimentación de aireación. No obstante, tal recirculación no es esencial en la práctica amplia de la presente invención y en algunos casos puede ser posible obtener una disolución adecuada de oxígeno en el lodo y una alta utilización de oxígeno en el gas de alimentación de aireación con una corriente de paso continuo de gas de alimentación de aireación a través de la zona de digestión aerobia. Las proporciones relativas de gas de alimentación de aireación y lodo que han de ponerse en contacto en la primera zona de digestión para digestión aerobia en ella, pueden ser esta-

blecidas adecuadamente del modo descrito en la sección de sumario precedente de esta Memoria, basándose, por ejemplo, en una determinación empírica de la velocidad de captación de oxígeno específica (VCOE) del lodo a tratar, o basándose en la cantidad de oxígeno que se requiere para biodegradar una cantidad unitaria de sólidos en suspensión volátiles en tal lodo. En algunos sistemas, puede ser deseable asegurar la existencia de una acción digestiva aerobia intensa en la primera zona de digestión mediante el mantenimiento de altos niveles de oxígeno disuelto (O.D.) en el lodo allí contenido, como por ejemplo por lo menos 2 mg/litro, pero en general la velocidad de captación del lodo en la primera zona de digestión del procedimiento presente es lo suficientemente elevada para que el mantenimiento de un nivel sustancial de O.D. en el lodo que se está oxigenando no sea necesario para una digestión aerobia eficiente.

En la zona de digestión aerobia, el contenido de sólidos suspendidos totales (SSLM) del lodo se mantiene por lo menos en 20.000 mg/litro para facilitar así el mantenimiento de alta temperatura del lodo en la primera zona de digestión, necesaria para obtener un grado satisfactorio de estabilización parcial del lodo en la zona de digestión aerobia a tiempos de permanencia cortos.

Bajo las condiciones anteriores del procedimiento, se mantiene el lodo en la primera zona de digestión para la digestión a una temperatura comprendida entre 35° y 75°C, y preferiblemente en el intervalo termófilo de 45° a 75°C, para la biodegradación rápida del contenido de sólidos en suspensión volátiles del lodo. A este respecto, ha de apreciarse que la digestión aerobia en el

intervalo de temperatura próximo al termófilo de 35° a 45°C puede ser empleada de modo adecuado en la práctica amplia de la presente invención para conseguir velocidades de degradación de sólidos que, aun cuando no tan rápidas como las velocidades características de la operación termófila, son lo suficientemente altas para conseguir una estabilización adecuada del lodo a los valores bajos de los tiempos de permanencia de lodo característicos de la primera etapa de digestión en el presente procedimiento.

La etapa de digestión aerobia se continúa en la primera zona de digestión durante un tiempo de permanencia de lodo comprendido entre 4 y 48 horas, para reducir parcialmente el contenido de sólidos suspendidos volátiles biodegradables del lodo introducido en la primera zona de digestión. Como se ha indicado anteriormente en esta memoria, la etapa de digestión aerobia se efectúa preferiblemente para reducir el contenido de sólidos en suspensión volátiles del lodo introducido en la primera zona de digestión de 5 a 20 por ciento, por las razones anteriormente indicadas. En la etapa de digestión aerobia, el tiempo de permanencia de lodo debe ser por lo menos de 4 horas con objeto de obtener un grado suficiente de estabilización parcial en la primera zona de digestión; a tiempos de permanencia inferiores a 4 horas, el grado de estabilización del lodo requerido en la etapa de tratamiento anaerobio subsiguiente llega a ser desproporcionadamente grande con relación al nivel de estabilización en la primera etapa aerobia y al tiempo de permanencia del sistema global y los requisitos de depósitos empiezan a aproximarse a aquellos del sistema convencional de digestión ana-

erobia, con la pérdida creciente de la mejora inesperada en estas variables del procedimiento (es decir, tiempo de permanencia del sistema global y capacidades de depósitos) característicos de operaciones con tiempos de permanencia en la etapa de digestión aerobia comprendidos entre 4 y 48 horas. Por razones correspondientemente similares, el tiempo de permanencia de lodo en la zona de digestión aerobia no debe exceder de 48 horas. Por encima de tal valor, el grado de estabilización del lodo en la zona de digestión aerobia se hace indobidamente grande con respecto a la estabilización residual en la etapa anaerobia aguas abajo, de modo que la producción de metano en la última etapa tiende a reducirse adversa y gravemente, y otra vez hay una pérdida creciente de la mejora inesperada de los requisitos de tiempo de permanencia del sistema global y de capacidad de depósitos en conexión con el intervalo de tiempo de permanencia de lodo en la digestión aerobia de 4 a 48 horas. Preferiblemente, el tiempo de permanencia está comprendido entre 12 y 30 horas y adecuadamente entre 12 y 24 horas, basado en las consideraciones anteriores.

Después del tratamiento de digestión aerobia antes descrito, se descarga lodo parcialmente estabilizado desde la zona aerobia por el conducto 14 y por separado se descarga gas de digestión agotado en oxígeno desde la zona aerobia por el conducto 18. En el caso en que se introduzca gas de alimentación de aireación que contiene por lo menos 50 por ciento de oxígeno (en volumen), en la primera zona de digestión, el gas de digestión agotado en oxígeno descargado de ella contiene deseablemente por lo

5 menos 21 por ciento de oxígeno (en volumen) con objeto de obtener una utilización adecuadamente elevada del oxígeno contenido en el gas de alimentación de aireación, el tiempo que se mantiene el consumo de energía para el contacto del gas de aireación y el lodo en un nivel adecuadamente bajo para una operación económica. Con objeto de asegurar una alta utilización de oxígeno, en particular cuando se usa gas de alimentación de aireación de alto contenido de oxígeno, el nivel de pureza de oxígeno del gas expulsado

10 de la zona de digestión en el conducto 18 puede mantenerse fácilmente en un nivel apropiado mediante la regulación adecuada de las velocidades relativas de introducción de gas de aireación a través del conducto 17 y la expulsión al exterior por el conducto 18, como por ejemplo, mediante válvulas de control de flujo de gas en cualquiera

15 de los dos conductos de gas de entrada o de expulsión al exterior, acopladas en relación controlada con un analizador de pureza de oxígeno (no indicado) dispuesto en el conducto de expulsión al exterior 18, de un modo bien conocido por los expertos en la técnica.

20

25 Se ha encontrado que manteniendo el lodo en la zona de digestión aerobia de la presente invención en una temperatura termófila de por lo menos aproximadamente 50-52°C, se consigue la pasterización sustancialmente completa del lodo. En la práctica, amplia de la presente invención, se descarga lodo estabilizado parcialmente desde la zona aerobia 10 por el conducto 14, a una temperatura comprendida entre 35°C y 75°C. Dado que esta realización específica de la invención emplea digestión anaerobia mesófila en la segunda zona de digestión cubierta 20, puede

30

retirarse deseablemente calor del lodo estabilizado parcialmente por el conducto 14, asegurando la operación eficiente de la etapa del tratamiento aerobio del lodo a una temperatura inferior a la empleada en la primera zona de digestión 10. Por consiguiente, el lodo en el conducto 14 se hace fluir a través del cambiador de calor 15 en relación de intercambio de calor indirecto con el lodo de entrada parcialmente calentado que entra en el cambiador de calor 15 por el conducto 9. El lodo tratado aeróbicamente, parcialmente estabilizado y enfriado fluye después a través del conducto 16 para introducirse en la segunda zona de digestión cubierta 20. Alternativamente, el lodo estabilizado parcialmente en el conducto 14 puede ser enfriado por un medio de enfriamiento suministrado por el exterior tal como el efluente clarificado de una instalación de tratamiento de aguas residuales. Adicionalmente, en operaciones invernales, puede no ser necesario utilizar una etapa de intercambio de calor tal como se lleva a cabo por el cambiador de calor 15, para el enfriamiento de la corriente de lodo estabilizado parcialmente, ya que las pérdidas de calor al medio ambiente desde la segunda zona de digestión y la corriente de lodo que circula desde la primera a la segunda zona de digestión pueden compensar satisfactoriamente la ausencia de tal cambiador de calor.

El lodo estabilizado parcialmente introducido en la segunda zona de digestión desde el conducto 16 se mantiene en ella bajo condiciones anaerobias a una temperatura de 25° a 45°C durante un tiempo de permanencia de lodo (duración) suficiente para reducir adicionalmente el contenido de sólidos en suspensión volátiles biodegradables.

bles del lodo, a menos de aproximadamente 40%, y preferiblemente menos de 20%, del contenido de sólidos en suspensión volátiles biodegradables del lodo introducido en la primera zona de digestión, y formar gas metano.

5 En la práctica amplia de la presente invención la temperatura del lodo en la segunda zona de digestión cubierta se mantiene entre 25° y 60°C, que incluye tanto la operación en el intervalo mesófilo de 25° a 45°C como la operación en el intervalo termófilo de 45° a 60°C. Para una operación altamente eficaz, la zona anaerobia en 10 la operación mesófila se mantiene a una temperatura de tratamiento de lodo comprendida entre 35° y 40°C, y, preferiblemente, entre 37° y 38°C. Un intervalo de temperatura de operación preferido para la digestión termófila anaerobia es el comprendido entre 45° y 50°C. La operación 15 en los intervalos de temperatura preferidos anteriores proporciona una acción degradativa particularmente rápida de sólidos volátiles biodegradables por las cepas microbianas implicadas.

20 En la operación de la zona de digestión anaerobia 20, el contenido de la zona de digestión se mezcla continuamente de modo ventajoso por los medios de agitación 21, creando con ello una gran zona de descomposición activa y aumentando significativamente la velocidad de las reacciones de estabilización. El tiempo de permanencia 25 del lodo en la segunda zona de digestión puede estar comprendido adecuadamente entre 4 y 12 días y, preferiblemente, entre 5 y 9 días. Tiempos de permanencia del lodo en la segunda zona de digestión de menos de 4 días pueden ser indeseables debido a que por debajo de tal valor, el 30

tiempo de permanencia tiende a ser crecientemente inadecuado para soportar una gran población viable de formadores de metano en la etapa anaerobia, con el efecto adverso consiguiente sobre el rendimiento global de estabilización del lodo del sistema de digestión. Por otra parte, a tiempos de permanencia de lodo en la etapa de digestión anaerobia superiores a 12 días, los tiempos de permanencia para la segunda zona de digestión se hacen superfluaamente largos y los beneficios sinérgicos de los requisitos de tiempo de permanencia y de capacidad de depósitos realizados por el procedimiento integrado de la invención, en el intervalo amplio de tiempo de permanencia de 4 a 12 días llega a ser crecientemente difícil de conseguir.

Después de que el tratamiento anaerobio del lodo en la segunda zona de digestión 10 es completo, el lodo estabilizado adicionalmente producido en ella, se descarga desde la segunda zona de digestión por el conducto 24 y es cambiado calor para la recuperación del contenido de calor contra la alimentación del lodo de entrada en el cambiador de calor 22 antes de la descarga final desde el proceso por el conducto 25. El gas metano formado en la segunda zona de digestión 20 como producto de las reacciones bioquímicas efectuadas en ella, se descarga desde la etapa de tratamiento anaerobio por el conducto 23 que tiene dispuesto en él la válvula de control de flujo 26.

Como se ha analizado anteriormente en esta memoria, la operación continua de un digestor anaerobio de alta velocidad a temperaturas óptimas superiores a la del ambiente ha sido inherentemente difícil de mantener en la práctica convencional. Las fluctuaciones de la temperatu-

ra ambiente ocasionan típicamente variación tanto en las temperaturas del lodo de entrada como en la fuga de calor del depósito del digestor, lo que a su vez da como resultado fluctuaciones indeseables de la temperatura dentro del depósito de digestión. Tales variaciones de temperatura, como se ha analizado, influyen en las velocidades de crecimiento relativas de las bacterias que forman ácido y que forman metano. Las bacterias que forman ácido son típicamente muy robustas y fluctuaciones moderadas de temperatura no alteran su actividad metabólica en ningún grado apreciable. Por otra parte, las bacterias que forman metano, son sumamente sensibles a las condiciones ambientales. Si el mantenimiento de una temperatura constante en la zona de digestión anaerobia es alterado por fluctuaciones de temperatura incluso menores, probablemente resultará inestabilidad en la actividad y crecimiento de los formadores de metano. Por consiguiente, la actividad de los formadores de ácido dominará, con una acumulación acompañante de los productos de descomposición intermedios ácidos y la disminución del nivel de pH en la zona de digestión. A medida que el pH desciende, la actividad de los formadores de metano se reduce adicionalmente y se ocasiona una alteración grave para el procedimiento.

La solución intentada para la condición alterada del procedimiento antes descrita, en la zona de digestión anaerobia convencional, lleva consigo la adición de grandes cantidades de cal al digestor con objeto de sumontar el tamponamiento, y elevar con ello el nivel de pH en el digestor. Aumentando el pH y haciendo disminuir la velocidad de alimentación de entrada es a veces posible llo-

var otra vez a operación el digestor que experimenta tal alteración. Esta medida correctiva, sin embargo, sólo es adecuada en general en el caso de fluctuaciones o alteraciones del proceso de plazo corto y no es corrientemente ventajoso en el caso de fluctuaciones o condiciones alteradas de plazo largo.

En el procedimiento de la presente invención, el control y el mantenimiento de temperaturas de digestión elevadas en la zona de digestión con fluctuaciones mínimas de temperatura, independientemente de las condiciones climáticas, se consigue mediante la integración de una etapa de digestión aerobia termófila o próxima a la termófila con una etapa subsiguiente de tratamiento anaerobio del lodo. En el procedimiento de esta invención, la etapa de digestión aerobia termófila o próxima a termófila es capaz por lo general de suministrar más calor que el suficiente para estabilizar térmicamente la etapa anaerobia, en virtud del contenido de calor de la corriente de lodo estabilizado parcialmente que se hace fluir desde la zona de digestión aerobia a la etapa anaeróbica. Como resultado, las alteraciones de temperatura en la zona anaerobia del procedimiento presente pueden ser virtualmente eliminadas variando parámetros del procedimiento tales como tiempo de permanencia de lodo en la zona aerobia, el contenido de sólidos del lodo cargado a la zona aerobia, y la proporción de calentamiento por intercambio de calor del lodo de alimentación antes de su introducción en la zona aerobia.

Otro beneficio sustancial proporcionado por el procedimiento integrado de esta invención, fuera del atribuible a la estabilidad de la temperatura de operación,

es su capacidad para acomodar una alteración esporádica, tal como una carga de choque, sin pérdida de la eficacia del procedimiento. En una zona de digestión anaerobia convencional, no sólo ocurre rápidamente la fase de solubilización inicial del proceso de digestión, sino que la acción microbiana por bacterias que forman ácido facultativas también tiene lugar a velocidad alta. Por la incidencia de una carga súbita de alto contenido de sólidos en el sistema de digestión aerobia convencional, la solubilización y acidificación tienen lugar a una velocidad más rápida de la que las bacterias que forman metano pueden usar con los productos intermedios ácidos. Como resultado, tiene lugar acumulación de constituyentes ácidos en la zona de digestión, el pH en la zona de digestión desciende y existe propensión a una acidificación del contenido del digestor. Sin embargo, en el procedimiento presente la etapa aerobia termófila o próxima a termófila aguas arriba, favorece la solubilización rápida de especies biodegradables en el lodo de modo que al incidir una carga de choque a la zona aerobia tiene lugar una solubilización rápida resultante en la digestión aerobia, así como la estabilización de la mayor parte de la porción volátil del lodo, suavizando con ello el choque y disminuyendo en gran manera su efecto sobre la zona anaerobia aguas abajo. En la etapa de tratamiento ulterior la zona anaerobia recibe un lodo estabilizado parcialmente sobre el que pueden desarrollarse en equilibrio las bacterias que forman ácido y las bacterias que forman metano.

Considerando que la etapa de digestión aerobia en el procedimiento de tratamiento de lodo de la presente

invención emplea de preferencia una zona de digestión termófila, el procedimiento descrito y reivindicado en la Patente de Estados Unidos Nº. 3.926.794 expedida el 16 de Diciembre de 1975 a N.P. Vahldieck, incorporada aquí en la extensión pertinente, puede ser empleado ventajosamente en conjunción con el procedimiento de la presente invención para el tratamiento de agua residual para separar de él DBO mediante el procedimiento de lodo activado y el tratamiento del lodo activado residual resultante mediante el procedimiento de esta invención.

A modo de antecedente, el tratamiento secundario de lodo activado de agua residual se lleva a cabo convencionalmente del siguiente modo. Agua residual que contiene DBO, tal como, por ejemplo, de alcantarillado municipal, puede ser sometida primeramente a etapas de tratamiento tales como eliminación de arena y sedimentación primaria para separar del agua residual un lodo primario que comprende sólidos en suspensión biodegradables y formar con ello un efluente primario agotado en sólidos, que entra después en el sistema de tratamiento secundario. En el tratamiento secundario, el efluente primario y lodo de reciclaje son mezclados y aireados a una velocidad suficiente y durante un tiempo suficiente para formar un líquido mixto de contenido de DBO reducido. Después de esto, el líquido mixto se separa en líquido purificado y lodo activado y por lo menos la mayor parte del lodo activado se devuelve para mezclarse con el efluente primario como el lodo de reciclaje antes citado. Este sistema de tratamiento de agua residual puede ser empleado adecuadamente en conjunción con el procedimiento de la invención, en donde el lodo primario y lodo acti-

vado sin retornar son introducidos en la primera zona de digestión del procedimiento presente como la alimentación de lodo para ésta.

Como enseña la patente de EE.UU. de Vahldieck  
5 antes citada, se usa oxígeno gaseoso para la digestión termófila de lodo activado en una zona de digestión cubierta caliente, y el gas expulsado de la zona de digestión se usa como por lo menos la mayor parte del gas de aireación en una zona cubierta más fría para el tratamiento secundario de lodo activado de agua residual. Esta patente descri-  
10 be que con objeto de obtener la alta fuerza motriz para la transferencia de masa necesaria para la disolución eficiente de oxígeno en la digestión aerobia a temperatura elevada, debe usarse oxígeno gaseoso de pureza relativamente alta como gas de aireación para la etapa de digestión. A  
15 temperaturas elevadas, la velocidad aumentada de la acción degradante bioquímica sobre el lodo en la zona de digestión aerobia, produce cantidades sustanciales de dióxido de carbono como producto de reacción gaseoso. Puesto que la solubilidad del dióxido de carbono es relativamente baja a  
20 las altas temperaturas características de la digestión termófila aerobia, se desprende una cantidad apreciable de dióxido de carbono en la fase gaseosa en el digestor aerobio, reduciendo con ello la concentración efectiva de oxígeno en el gas de aireación en él. Además, a temperaturas termófilas altas la concentración de la fase de gas con oxígeno en la zona de digestión, se reduce adicionalmente por el vapor de agua presente en el vapor de aireación debido a la presión de vapor del agua relativamente elevada a tales niveles de temperatura.

Los efectos anteriores reducen sustancialmente la fuerza motriz para la transferencia de masa de oxígeno desde la fase gaseosa al lodo en la zona de digestión termófila. La fuerza motriz para la transferencia de masa de oxígeno a la fase líquida del lodo se reduce también como resultado de la menor solubilidad del oxígeno a niveles de temperatura termófila elevados. Por estas razones, la patente de Vahldieck enseña que el gas que contiene oxígeno introducido en la zona de digestión termófila tiene deseablemente una concentración de oxígeno de, por lo menos, 80% en volumen. Bajo tal restricción operatoria, el gas de aireación gastado procedente de la zona de digestión termófila puede ser usado ventajosamente como el gas oxidante en un sistema de tratamiento secundario de lodo activado. La Figura 2 en esta Memoria es un diagrama esquemático según otra realización de la invención, que muestra ilustrativamente un modo en el que las enseñanzas de la patente de Vahldieck pueden ser empleadas ventajosamente en asociación con la práctica de la presente invención.

Con referencia ahora a la Fig. 2, agua que contiene DBO, como por ejemplo agua de alcantarilla, entra en la zona de aireación 102 a través del conducto 101. Un primer gas que comprende por lo menos 40% de oxígeno (en volumen) entra en la zona 102 a través del conducto 118 (línea de trazos) y lodo activado recirculado entra también en la zona 102 a través del conducto 108 que tiene en él la bomba 109. El líquido que sobrenada procedente del espesador de lodo 151 se introduce también en la zona de aireación cubierta 102, por el conducto 150. En esta Figura, se muestran conductos de corrientes de líquido y lodo mediante

las líneas continuas mientras que los conductos de corrientes de gas se muestran mediante líneas de trazos. Con fines de sencillez, las válvulas no están ilustradas, pero el uso apropiado de las mismas en la práctica de la invención será bien comprendido por los expertos en la técnica. Las corrientes antes citadas se mezclan íntimamente en la zona de aireación 102 por medios de agitación mecánicos 103. Estos últimos pueden comprender impulsores accionados por motor situados cerca de la superficie del líquido o sumergidos bajo la superficie, y el oxígeno gaseoso puede introducirse a través del conducto 118, o bien por encima o por debajo del líquido. Tal aparato es bien conocido por los expertos en la técnica y debe ser seleccionado para conseguir una elevada superficie de contacto entre los fluidos con el consumo de trabajo. Si el oxígeno gaseoso es hecho burbujear o se difunde en el líquido, las burbujas deben ser pequeñas de modo que su área superficial total sea grande y su fuerza ascensional sea baja. La disolución de oxígeno es ayudada también sumergiendo los medios de dispersión de gas a una profundidad en el líquido donde el efecto hidrostático sea significativo.

En la práctica preferida, se proporcionan adecuadamente medios para hacer recircular continuamente un fluido contra los otros fluidos en la zona de aireación 102. Por ejemplo, puede estar unido un compresor (no mostrado) al espacio gaseoso en la zona de aireación por medios de conducto adecuados para la recirculación del gas de aireación a la porción inferior de la zona, para desprender pequeñas burbujas de gas a través de un dispositivo de burbujeo de tipo convencional. Alternativamente, los

medios de mezcla antes citados pueden ser empleados también para la recirculación de fluido, como en el caso de impulsores de aireación superficial. Los dispositivos de aireación son comúnmente clasificados por la denominada "eficacia de transferencia normal de aire" que identifica la capacidad del dispositivo para disolver oxígeno desde aire a agua corriente de OD cero, a presión de una atmósfera y 20°C. Son dispositivos adecuados aquellos que tienen una eficacia de transferencia normal de aire de 0,68 kg de O<sub>2</sub> por Hp-hora y preferiblemente de 1,36 por lo menos. Para este fin la energía usada para clasificar el dispositivo es la energía total consumida tanto para agitar el líquido como para poner en contacto el líquido y el gas.

El oxígeno antes citado se introduce y pone en contacto con el líquido mixto en cantidad y con velocidad suficientes para mantener el contenido de oxígeno disuelto (OD) del líquido mixto por lo menos en 0,5 mg/litro. Asimismo, la temperatura del líquido se mantiene preferiblemente por lo menos en 15°C, por lo que pueden ser necesarios en tiempo frío medios para evitar una temperatura inferior en la zona de aireación 102, como por ejemplo medios para calentar el agua residual de entrada por el conducto 101. El diseño y operación de la zona de aireación de agua residual 102 puede ser como se describe en cualquiera de las Patentes de Estados Unidos Nos. 3.547.811; 3.547.812; ó 3.547.815.

El líquido mixto oxigenado se descarga de la zona de aireación cubierta 102 y se hace pasar a través del conducto 104 para separar en líquido sobrenadante purificado y lodo activado en el clarificador 105. El gas que

contiene oxígeno sin consumir se descarga de la zona de aireación 102 a través del conducto 119 y puede, por ejemplo, ser expulsado a la atmósfera. Este gas se descarga de la zona de aireación a velocidad controlada de modo que su contenido de oxígeno no es mayor del 40% del oxígeno total introducido en la zona de digestión aerobia cubierta (descrita aquí más adelante). Volviendo ahora al clarificador 105, se descarga líquido sobrenadante purificado a través del conducto 106 y se extrae lodo activado a través del conducto 107 conteniendo microorganismos concentrados, en la concentración de aproximadamente 10.000 a 40.000 mg/litro de contenido de sólidos en suspensión totales (SSLM). La mayor parte del lodo activado, por ejemplo, por lo menos 85%, se devuelve a través del conducto 103 y la bomba 109 a la zona de aireación, preferiblemente a un caudal con respecto al agua residual que contiene DBO tal que la relación de lodo de recirculación/volumen de agua residual que contiene DBO es de 0,1 a 0,5. Los caudales en la zona de aireación cubierta 102 son preferiblemente tales que la concentración de sólidos en suspensión totales (SSLM) en ella es de 4.000 a 12.000 mg/litro y el contenido de sólidos en suspensión volátiles (SSVLM) es de 3.000 a 10.000 mg/litro. El tiempo de contacto líquido-sólido en la zona de aireación 102 para absorción-asimilación de alimento orgánico está comprendido entre 30 minutos y 24 horas. Este tiempo varía dependiendo de la concentración (contenido de DBO del agua residual, el tipo de sustancias contaminantes, el nivel de sólidos en aireación y temperatura, todos los cuales son entendidos por los expertos en la técnica.

No todo el lodo separado en el clarificador 105 es devuelto a la zona de aireación 102 por dos razones. En primer lugar, el proceso de lodo activado produce un rendimiento neto de microorganismos debido a que la masa de nuevas células sintetizadas a partir de impurezas en el agua residual es mayor que la masa de células auto-oxidadas durante el tratamiento. En segundo lugar, el agua residual contiene normalmente sólidos no biodegradables que sedimentan y se acumulan con la biomasa. Por consiguiente, una pequeña fracción del lodo activado debe ser desechada con objeto de equilibrar la población de microorganismos y el suministro de alimento (DBO = demanda biológica de oxígeno) y con objeto de suprimir la acumulación de sólidos inertes en el sistema. El residuo de lodo habitualmente comprenderá menos del 3% del lodo separado total y raramente más de 15%.

Aún cuando el lodo residual es una pequeña fracción de los sólidos totales separados en el clarificador, es con frecuencia, no obstante, una cantidad absoluta grande de material. Independientemente de la cantidad, su desecho representa una parte significativa del coste del tratamiento de agua residual, y además, impone un problema ecológico grave. El lodo es putrescible y es muy activo desde el punto de vista biológico, y con frecuencia contiene bacterias patógenas. Potencialmente, el lodo es útil como fertilizante y/o relleno de suelos, pero antes de tal uso, debe estar bien estabilizado para evitar molestias y daños para la salud, y su alto contenido de agua (por ejemplo 96-98%) debe ser reducido.

El lodo residual procedente del clarificador

30

06118

105 es retirado del circuito de recirculación de lodo en el conducto 111, conteniendo de 10.000 a 40.000 mg/litro de SSIM, e inicialmente a aproximadamente la misma temperatura que el agua residual en la zona de aireación 102, por ejemplo 15º a 25ºC, y se hace pasar a un depósito de espesamiento 151. El depósito de espesamiento 151 concentra el lodo a un valor comprendido entre 20.000 y 60.000 mg/litro SSIM y pasa la corriente de la parte inferior de lodo espesado a través del conducto 152 al sistema de digestión de lodo.

En algunos casos, tales como operación de tratamiento de agua residual a alta temperatura ambiental, y altos niveles de concentración de sólidos en la corriente de la parte inferior procedente del clarificador, el espesamiento del lodo residual procedente del clarificador puede no ser necesario y el lodo en el conducto 111 puede adecuadamente hacerse pasar en derivación al depósito 151 a través del conducto 153 y entrar seguidamente en el conducto 152 para pasar al sistema de digestión de lodo. El rebose del espesador (líquido sobrenadante) se hace pasar a través del conducto 150 a la zona de aireación 102, según se ha descrito anteriormente.

El lodo espesado, en el conducto 152, puede ser calentado si es necesario antes de introducirlo en la zona de digestión aerobia 110, mediante el calentador de metano 130. Alternativamente, el lodo podría ser sometido a intercambio de calor con el efluente de lodo estabilizado procedente de la zona de digestión anaerobia 120b, de un modo similar al descrito de modo ilustrativo anteriormente en esta Memoria en relación con la realiza-

zación mostrada en la Fig. 1. Se introduce lodo residual en una primera zona de digestión cubierta 110 o bien continuamente o intermitentemente desde el conducto 152. La zona de digestión aerobia 110 se mantiene a una temperatura comprendida entre 35° y 75°C y, de preferencia, en el régimen termófilo comprendido entre 45° y 75°C. Un intervalo preferido para operación autotérmica en la zona de digestión aerobia es el comprendido entre 50° y 65°C. La temperatura elevada en la primera zona de digestión cubierta 110 puede ser mantenida también suministrando calor externo, por ejemplo mediante un fluido adecuadamente calentado que circula por medios de intercambio de calor (no mostrados) dispuestos en el interior de la zona de digestión. Debido al recubrimiento y a la tendencia a atascamiento de los sólidos las superficies de transferencia de calor dispuestas en el interior del digestor no deben ser intrincadas o poco separadas y pueden estar empotradas ventajosamente en la pared del depósito o unidas a ella.

Se introduce el segundo gas que contiene oxígeno que comprende por lo menos 80% de oxígeno (en volumen) en la primera zona de digestión cubierta 110 a través del conducto 117. Según se indica más adelante, este gas es suficiente en cantidad para proporcionar parte del primer gas que contiene oxígeno introducido en la zona de aireación 102 a través del conducto 118.

Preferiblemente, la elevada temperatura en la primera zona de digestión cubierta 110 se obtiene autotérmicamente sin necesidad de intercambiadores de calor tales como 130. El lodo concentrado que se obtiene característicamente en el procedimiento de aireación con oxígeno de la Patente de Estados Unidos 3.547.813, es muy

favorable para la operación autotérmica debido a su reducido contenido de agua con respecto a su contenido "combustible" biodegradable. Además, altas concentraciones de sólidos reducen el tamaño del digestor y por tanto reducen las pérdidas de calor por conducción a través de las paredes del depósito digestor. Como se ha indicado anteriormente, el contenido de sólidos en suspensión totales (SSLM) del lodo en la zona de digestión debe ser, por lo menos, de 20.000 mg/litro, basado en tales consideraciones.

Los límites superiores sobre la concentración de sólidos del digestor aerobio vienen impuestos en general por dos factores. Ampliamente, la concentración máxima depende de la capacidad de los dispositivos convencionales de sedimentación y espesamiento para reducir el contenido de agua. Dispositivos de flotación, separadores centrifugos y espesadores por gravedad, producen concentraciones de 60.000 mg/litro de sólidos en suspensión totales. Los niveles de sólidos pueden ser aumentados adicionalmente por mezcla de lodo primario o residuo concentrado procedente de una fuente distinta del agua residual. El segundo factor que limita las concentraciones de sólidos es la dificultad creciente de disolver oxígeno y mezclar sólidos en el digestor. Un límite superior preferido es el de 80.000 mg/litro, y, lo más preferible, de 60.000 mg/litro, para asegurar que la oxigenación adecuada del lodo puede ser llevada a cabo sin excesivo consumo de energía en la operación de mezcla de gas de aireación y lodo.

La construcción del depósito digestor afecta también al mantenimiento de niveles elevados de temperatu-

ra y se prefieren paredes de hormigón a las de metal debido a la menor pérdida de calor por conducción a través del hormigón. La pérdida de calor puede ser reducida adicionalmente empotrando el depósito por debajo de la superficie del terreno y amontonando tierra contra las paredes verticales al descubierto del depósito. Puede aplicarse si se requiere aislamiento térmico tal como hormigón de baja densidad o plástico expandido, sobre una cubierta metálica.

También es preferible llevar a la práctica la invención, en digestores aerobios y anaerobios que tienen una relación de superficie a volumen inferior a  $2,62 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Para estos fines, "superficie" se refiere al área superficial total de la pared del digestor cubierto incluyendo la parte superior, el fondo y las paredes laterales. Relaciones de superficie a volumen mayores de  $2,62$  dan como resultado pérdidas grandes de calor por conducción a través de las paredes con relación a la cantidad de calor necesario que ha de mantenerse en el digestor. Tales pérdidas de calor necesitan, posiblemente, aislamiento térmico sobre las paredes expuestas a la atmósfera ambiente.

El tiempo de permanencia del lodo en el digestor aerobio afecta también a los niveles de temperatura elevados, en particular niveles de temperatura autotérmica, que pueden ser mantenidos. Se apreciará que numerosos factores afectan a la relación entre tiempo de permanencia del lodo y temperatura, tales como capacidad de degradación del lodo y concentración (nivel de sólidos) del lodo. En la práctica amplia de la presente invención el tiempo de permanencia del lodo en la primera zona de digestión esté comprendido entre 4 y 48 horas. Preferiblemente, el

tiempo de permanencia del lodo en la primera zona de digestión esté comprendido entre 12 y 30 horas, y adecuadamente entre 12 y 24 horas.

5                   La primera zona de digestión 110 está provista de medios de agitación mecánicos 112 que pueden ser del mismo tipo empleado como medios 103 en la zona de aireación 102, junto con medios para hacer recircular continuamente uno de los fluidos del segundo gas y del lodo activado contra los otros fluidos en la zona de digestión.

10                   El segundo gas que comprende por lo menos 80% de oxígeno, se introduce en la zona de digestión aerobia cubierta 110 y se mezcla con el lodo existente en ella en cantidad y con velocidad suficientes para la digestión aerobia del lodo, al tiempo que se mantiene el contenido de sólidos en suspensión totales del lodo por lo menos en 15                   20.000 mg/litro.

20                   Se descarge desde la zona de digestión cubierta 110 a través del conducto 118, gas de digestión agotado en oxígeno con por lo menos 40% de riqueza de oxígeno, a una velocidad tal que su contenido de oxígeno sea por lo menos el 35% del contenido de oxígeno del gas de alimentación con oxígeno que entra a través del conducto 117. El 25                   gas en el conducto 118 se introduce en la zona de aireación cubierta 102, como por lo menos la mayor parte del primer gas antes citado que suministra el oxígeno necesario para la oxigenación bioquímica del agua residual. Si se necesita, puede suministrarse una fuente externa suplementaria de gas que contiene oxígeno para aumentar la corriente gaseosa que contiene oxígeno, por el conducto 118.

30                   Después de completado el nivel deseado de

tratamiento de digestión aerobia en la zona 110, se descarga lodo estabilizado parcialmente desde la primera zona de digestión cubierta 110 por el conducto 114 y se hace pasar a la porción de tratamiento anaerobio del sistema integrado. En esta realización la segunda zona de digestión anaerobia comprende una subzona de acidificación 120a y una sub-zona de fermentación metánica 120b. El lodo estabilizado parcialmente por el conducto 114 procedente de la primera zona de digestión 110, se introduce en la sub-zona de acidificación 120a y se mantiene en ella durante un tiempo de permanencia de lodo comprendido entre 24 y 60 horas, según se requiera para la acidificación del lodo. El contenido de la sub-zona 120a se mezcla continuamente por los medios de agitación 121a, para mantener una velocidad uniforme de degradación de hidratos de carbono, grasas y proteínas a ácidos grasos inferiores. Una vez completado el tiempo de permanencia necesario en la sub-zona 120a, el lodo acidificado se descarga de ella por el conducto 126. Si la temperatura de la zona de excitación de lodo 120a está a temperatura elevada por encima de los niveles óptimos de formación de metano, la temperatura del lodo acidificado se hace disminuir deseablemente para asegurar la operación satisfactoria de la sub-zona 120b de formación de metano. Por consiguiente, el lodo en el conducto 126 se hace pasar a través del cambiador de calor 115 frente a una corriente de enfriamiento que fluye a través del cambiador de calor por el conducto 160. El lodo resultante estabilizado parcialmente, parcialmente enfriado, descargado del cambiador de calor 115 fluye después a través del conducto 127 a la sub-zona de fermentación metánica 120b.

El medio refrigerante de intercambio de calor en el conducto 160 puede comprender adecuadamente una corriente de agua de refrigeración, como por ejemplo una porción del efluente procedente del clarificador secundario del conducto 106 o, como en la realización anteriormente descrita, la corriente de alimentación del lodo de entrada al sistema de digestión.

La sub-zona de digestión anaerobia 120b comprende la etapa de digestión de formación de metano del procedimiento. Para una operación óptima, el lodo en la sub-zona de fermentación metánica se mantiene a una temperatura comprendida entre 35°C y 40°C, y preferiblemente, entre 37°C y 38°C. El contenido de la zona 120b se mezcla continuamente mediante los medios de agitación 121b, creando con ello una zona grande de descomposición activa y aumentando significativamente la velocidad de las reacciones de estabilización en ella. El tiempo de permanencia de lodo en la sub-zona de fermentación metánica esté comprendido preferiblemente entre 4 días y 8 días bajo las consideraciones anteriormente analizadas que gobiernan la duración de la permanencia del lodo en la segunda zona de digestión anaerobia. El gas metano producido por las reacciones bioquímicas que tienen lugar en la sub-zona 120b es descargado de ella por el conducto 128 que tiene la válvula de control de flujo 129 situada en él. Una porción de este gas metano descargado puede hacerse pasar en caldera 130 en el conducto 132, mientras que la porción restante se retira del proceso por el conducto 131 para el tratamiento adicional y/u otras etapas finales de uso. El lodo estabilizado adicionalmente, que contiene no más de

40% del contenido primitivo de sólidos en suspensión volátiles biodegradables del lodo de entrada y de preferencia no más de 20% del mismo, se descarga del proceso por el conducto 133.

5

La Figura 3 es un diagrama esquemático de otra realización de la invención en la que lodo procedente de las etapas primaria y secundaria de tratamiento de agua residual se hace pasar al sistema de digestión de lodo.

10

Esta realización ilustra una secuencia del procedimiento bajo la presente invención en la que una primera etapa de digestión aerobia termófila está integrada con una segunda etapa de digestión anaerobia termófila. Hasta la fecha, la digestión anaerobia termófila no ha sido ampliamente empleada en la práctica comercial. La razón de tal uso limitado es que los problemas que acompañan a la operación

15

anaerobia mesófila convencional de inestabilidad térmica inherente y extrema sensibilidad a cambio en las condiciones del proceso, como se ha discutido anteriormente en esta Memoria, están presentes en la digestión anaerobia termófila en una extensión aun más crítica. En efecto, es debido a la estabilidad operacional errática de la digestión

20

anaerobia termófila por lo que este procedimiento de tratamiento del lodo ha recibido poca atención hasta la fecha en aplicaciones comerciales de digestión de lodo. Estos problemas de inestabilidad operacional y de sensibilidad

25

indebida a las fluctuaciones del procedimiento se superan en la realización aerobia/anaerobia termófila de la invención del modo descrito anteriormente en esta Memoria en relación con las realizaciones de la presente invención que emplean una segunda etapa de digestión mesófila anaerobia.

30

06118

En el sistema de la Figura 3 agua residual primaria compuesta, por ejemplo, de aguas de alcantarillado municipal, aguas residuales industriales, y aguas pluviales entra a través del conducto 240 a la zona de sedimentación primaria 241. La zona de sedimentación 241 puede estar constituida adecuadamente por un clarificador por gravedad de un tipo convencional bien conocido en la técnica. En la zona de sedimentación el agua residual de entrada se separa en un efluente primario que contiene DBO reducido, que fluye por el conducto 201 a la zona de aireación 202, y una corriente de la parte inferior de lodo sedimentado separada de la zona 241 a través del conducto 242. La zona de aireación 202 recibe asimismo gas de aireación que contiene oxígeno por el conducto 218, líquido sobrenadante del espesador de lodo por el conducto 250 y lodo activado de retorno por el conducto 208. Se disponen en la zona de aireación 202 medios de mezcla y recirculación de fluidos 203 para la mezcla de los diversos fluidos introducidos en la zona de aireación para formar líquido mixto y la recirculación continua y simultánea de uno de los fluidos de líquido mixto y gas de aireación que contiene oxígeno contra los otros fluidos existentes allí. Como se ha analizado anteriormente aquí, los medios de mezcla y recirculación de fluidos puede comprender adecuadamente un tubo burbujeador de gas sumergido en combinación con un impulsor de mezcla por debajo de la superficie, o un dispositivo impulsor de aireación superficial. Después del periodo de aireación requerido, por ejemplo 2-6 horas, un líquido mixto agotado en DBO y un gas de aireación agotado en oxígeno de por lo menos 21% de oxígeno (en volumen) se descargan de la zona de

aireación 202 por los conductos 204 y 219, respectivamente.

5 El líquido mixto oxigenado agotado en DBO, en el conducto 204, se hace pasar a la zona de sedimentación secundaria 205 en donde se separa lodo activado procedente del líquido purificado, descargándose este último del proceso por el conducto 206. El lodo activado sedimentado se retira de la zona de sedimentación secundaria en el conducto 207. La mayor parte de este lodo retirado se hace recircular como el lodo de recirculación a la zona de aireación 202 en el conducto 208 que tiene dispuesto en él la bomba de recirculación 209. La porción sin devolver remanente, que puede comprender entre 3% y 10% del lodo, en el conducto 207, se hace fluir en el conducto 252 al  
10  
15  
15  
espesador de lodo 251.

El espesador de lodo 251 comprende otra zona de espesamiento por sedimentación de lodo que concentra el lodo a un valor comprendido entre 2% y 6% de sólidos, es decir, un nivel de SSIM comprendido entre 20.000 y  
20  
60.000 mg/litro. La corriente inferior de lodo espesado se hace fluir por el conducto 245 y se une con lodo primario en el conducto 242 procedente de la zona de sedimentación primaria 241 para formar la corriente de lodo combinado en el conducto 211. El líquido sobrenadante procedente del  
25  
espesador de lodo 251 se hace pasar por el conducto 250 a la zona de aireación 202, según se ha descrito anteriormente.

La corriente de lodo combinado en el conducto 211 puede ser calentada parcialmente, si se desea, mediante intercambio de calor indirecto con el lodo estabilizado  
30

calentado descargado de la segunda zona de digestión 220, según se describe más completamente más adelante, y después se hace fluir a la primera zona de digestión 210 en el conducto 248. Antes de introducir en la primera zona de digestión 210, el lodo en el conducto 248 puede ser calentado adicionalmente mediante el calentador 231 que quema metano, que recibe gas metano para la combustión desde el conducto 227.

Si las condiciones ambientales de temperatura son suficientes para eliminar la necesidad de calentamiento, el lodo que entra en el sistema de digestión puede ser hecho pasar en derivación al cambiador de calor 244 y el calentador 231 por los conductos de paso en derivación 261 y 263, respectivamente.

En la primera zona de digestión cubierta 210 se lleva a cabo la digestión aerobia termófila del lodo residual de entrada. Se suministra gas de aireación que contiene por lo menos 50% de oxígeno (en volumen) y de preferencia, por lo menos 80%, a la zona de digestión 210, por el conducto 217, y los medios de agitación mecánicos 212 mezclan y hacen recircular simultánea y continuamente la mezcla de lodo de entrada contra el gas que contiene oxígeno. La velocidad de alimentación del gas de aireación y la entrada de energía a los medios de agitación mecánicos 212 son tales que se disuelve oxígeno en el lodo en la primera zona de digestión 210 en cantidad y con velocidad suficientes para satisfacer los requisitos de respiración de la digestión aerobia del lodo existente en ella.

Se retiene lodo en la primera zona de digestión 210 a temperatura termófila de 45° a 75°C durante un

tiempo comprendido entre 4 y 48 horas para reducir parcialmente el contenido de sólidos en suspensión volátiles biodegradables del lodo. Se descarga lodo estabilizado parcialmente de la zona de digestión aerobia 210 por el conducto 216 y el gas de digestión agotado en oxígeno se descarga por separado de la zona de digestión por el conducto 218.

Desde el conducto 216 el lodo estabilizado parcialmente procedente de la primera zona de digestión se introduce en la segunda zona de digestión cubierta 220.

La segunda zona de digestión 220 comprende un digester anaerobio termófilo. Para una operación óptima el lodo en esta zona de digestión se mantiene a una temperatura comprendida en el intervalo termófilo anaerobio de 40°C a 60°C y, de preferencia, entre 45°C y 50°C. Como resultado de la operación termófila tanto en la primera como en la segunda zonas de digestión en esta realización de la invención, el lodo estabilizado parcialmente procedente de la primera zona de digestión puede hacerse pasar directamente a la segunda zona de digestión según se indica sin intercambio térmico de calentamiento o enfriamiento entre las zonas si las temperaturas termófilas en las respectivas zonas están lo suficientemente próximas. Alternativamente, puede ser deseable en algunos casos hacer funcionar la segunda zona de digestión a temperaturas suficientemente más altas o más bajas con relación a la primera zona de digestión aerobia para que sea ventajoso el calentamiento o enfriamiento entre zonas del lodo parcialmente estabilizado procedente de la etapa de digestión aerobia. El calentamiento puede ser llevado a cabo mediante

un calentador que quema metano similar al calentador 231; el enfriamiento puede ser llevado a cabo mediante intercambio de calor del lodo estabilizado parcialmente procedente de la primera zona de digestión con el lodo de entrada hecho fluir al sistema de digestión, según se ha descrito  
5 anteriormente en esta memoria en relación con las realizaciones de la invención mostradas en las Figuras 1 y 2. Adicionalmente, ya que es incluso más crítico en la digestión anserobia termófila que en la digestión anserobia mesófila asegurar que no tengan lugar fluctuaciones de temperatura en la zona de digestión, puede ser deseable emplear un depósito bien aislado como recipiente para el tratamiento de lodo para la etapa de digestión anserobia termófila, proporcionando con ello una salvaguardia contra variaciones climáticas acusadas.  
10  
15

En la segunda zona de digestión 220, el lodo se mezcla continuamente por medios de agitación mecánicos 221 para mantener un alto grado de estabilización. El gas metano producido como resultado de las reacciones bioquímicas que tienen lugar en la digestión anserobia se descarga de la segunda zona de digestión por el conducto 223. Este gas metano puede ser mezclado con gas que contiene oxígeno tal como aire o el gas de digestión agotado en oxígeno procedente de la zona de digestión aerobia y quemarse como combustible para proporcionar calor para mantener a temperatura elevada el lodo en una o las dos zonas de digestión.  
20  
25  
En el proceso mostrado una porción del gas metano procedente del conducto 223 se hace pasar a través del conducto 227 al calentador de metano 231 y se quema para proporcionar calor para mantener el lodo en la primera zona de di-  
30

gestión a temperatura termófila comprendida entre 45° y 75°C. La porción restante se descarga del sistema del procedimiento por el conducto 228. El lodo estabilizado adicionalmente procedente de la zona de digestión anaerobia, que contiene no más del 40% del contenido de sólidos en suspensión volátiles biodegradables del lodo de entrada al sistema de digestión por el conducto 248 y preferiblemente no más del 20% del mismo, se descarga de la segunda zona de digestión a través del conducto 225, se hace pasar a través del cambiador de calor 244 para la recuperación de calor procedente del lodo descargado y finalmente se descarga del sistema del procedimiento por el conducto 243.

La naturaleza de la actividad biológica en la zona de digestión aerobia en la realización de la Figura 3 que acaba de ser descrita, es significativamente diferente de la actividad biológica en la zona aerobia de la realización de la invención de la Figura 2 descrita, en virtud de la diferencia en las fuentes del lodo. En la realización de la Fig. 2, el lodo hecho pasar al sistema de digestión como la alimentación de entrada para el mismo es únicamente lodo activado procedente del sistema secundario de tratamiento de agua residual, mientras que en la realización de la Fig. 3 el lodo de entrada comprende tanto el lodo secundario procedente de la etapa de tratamiento de lodo activado como el lodo primario procedente de la etapa primaria de sedimentación del agua residual primitiva. Dado que el material orgánico del lodo secundario está constituido principalmente por microorganismos visbles, la digestión aerobia de este lodo comprende las diversas etapas de reacción bioquímica de la lisis celular, asimi-

lación de los productos de lisis para la síntesis de nuevo material viable, y respiración. El lodo primario, por otra parte, está constituido principalmente por material orgánico no viable, que los microorganismos presentes en el lodo son capaces de usar como alimento. Por consiguiente, durante la digestión aerobia de un lodo primario la población microbiana del lodo experimenta una fase sustancial de síntesis celular además de la lisis celular, asimilación de productos de lisis y respiración. Como resultado, la digestión aerobia del lodo primario tiene lugar con un mayor nivel tanto de síntesis celular como de respiración celular del que se encuentra presente en la digestión aerobia del lodo secundario. Además, la digestión aerobia del lodo primario da como resultado una reducción neta más pequeña de sólidos volátiles biodegradables que la digestión aerobia del lodo secundario, basado en un tiempo de permanencia del lodo comparable para la digestión. La reducción neta de sólidos volátiles biodegradables en el lodo durante la digestión representa una diferencia en los procesos digestivos en competencia de síntesis celular y respiración celular.

La respiración celular en el proceso de digestión de lodo es exotérmica y, por las razones antes discutidas, el lodo primario exhibe una mayor capacidad de generación de calor por peso unitario de sólidos en suspensión volátiles biodegradables separados en la digestión, que el lodo secundario. Por consiguiente, se requiere una reducción neta inferior en sólidos en suspensión volátiles para conseguir y mantener un nivel de temperatura dado en la etapa de digestión aerobia, con el lodo primario que

con el lodo secundario. Así, la realización de la figura 3 de la invención, en donde el lodo al sistema de digestión comprende tanto lodo primario como secundario, puede llevarse a cabo a una temperatura dada con un nivel de reducción de sólidos en suspensión volátiles inferior en la zona de digestión aerobia que en la zona aerobia en la realización de la Fig. 2 que sólo trata lodo secundario. Una reducción inferior de sólidos volátiles biodegradables en la zona aerobia del sistema de digestión requiere a su vez que el tiempo de permanencia de lodo en la zona de digestión anaerobia aumente correspondientemente para obtener un nivel general dado de separación de sólidos en suspensión volátiles. Ya que una porción aumentada de la separación global de sólidos en suspensión volátiles se efectúa en la zona de digestión anaerobia, en tal caso el sistema que trate lodo primario puede obtener, por tanto, un nivel aumentado de generación de metano en la zona de digestión anaerobia con respecto al sistema de digestión que sólo trata lodo secundario. Así, la realización de la Fig. 3 es intrínsecamente capaz de proporcionar mayores cantidades de metano que el sistema de la Fig. 2, pero a costa de un mayor tiempo de permanencia del lodo en la zona de digestión anaerobia, en el primer caso.

Con respecto a la discusión anterior, la capacidad para calentar el lodo de entrada al sistema de digestión antes de la introducción del lodo en la zona de digestión aerobia es proporcionada en cada una de las realizaciones ilustrativas de la invención anteriormente descritas. Tal calentamiento puede ser necesario o puede no serlo en una aplicación dada dependiendo de factores diversos

tales como el contenido de sólidos del lodo, temperatura ambiente, tiempo de permanencia del lodo en la zona de digestión aerobia y del tipo de lodo de que se trate. La Figura 4 es una gráfica de la temperatura del lodo de entrada a la primera zona de digestión que es necesaria para mantener autotérmicamente una temperatura de operación de 50°C en la primera zona de digestión para un tiempo de permanencia de lodo de 24 horas, representada en función del contenido de sólidos en suspensión totales (SST) del lodo de entrada a la primera zona de digestión. Esta gráfica representa un lodo secundario biológico que posee una relación de sólidos en suspensión volátiles/sólidos en suspensión totales (SSV/SST) de 0,79 y un contenido de calor biológico de 7.784 kcal/kg de sólidos en suspensión volátiles separados.

La gráfica de la Figura 4 indica que la operación termófila puede ser conseguida sin necesidad de calentamiento del lodo de entrada al sistema de digestión antes de su introducción en la zona de digestión aerobia cuando el lodo de entrada tiene una concentración de sólidos suficiente. Por ejemplo si ha de ser sometido a digestión un lodo con una concentración de sólidos totales de 3%, la temperatura del lodo introducido en la zona aerobia termófila sólo necesita ser de aproximadamente 16°C para mantener la operación autotérmica.

Todas las realizaciones de la invención anteriormente descritas son capaces de dar lugar a un producto de lodo totalmente pasterizado, dado que en cada uno de estos casos la totalidad del lodo de entrada en el sistema de digestión se hace pasar a través de una zona de digestión

aerobias en la que pueden emplearse altas temperaturas del orden de por lo menos 50-52°C para proporcionar la pasteurización completa del lodo. Sin embargo, puede haber aplicaciones en las que la disposición final del lodo no requiera un producto completamente pasteurizado, o donde el propio lodo no requiera pasteurización debido a la ausencia de cualquier concentración apreciable de microorganismos patógenos en él. La Figura 5 es un diagrama esquemático de otra realización que está dentro del amplio alcance de la presente invención, en la que una porción menor del lodo que entra en el sistema del procedimiento se desvía a la segunda zona de digestión, y que es adecuada para las aplicaciones de digestión de lodo antes citadas en las que no se requiere una pasteurización completa del lodo. En la realización de la Fig. 5, una porción principal del lodo que entra al sistema del procedimiento por el conducto 311, se carga a la primera zona de digestión cubierta 310, por el conducto 331. Antes de la introducción en la primera zona de digestión 310, el lodo en el conducto 331 puede ser calentado, si se desea, por el calentador 330 que quema metano.

Se introduce en la zona de digestión aerobia 310 a través del conducto 317, gas de aireación que contiene oxígeno, que comprende por lo menos 50% y preferiblemente por lo menos 80% de oxígeno (en volumen). El lodo que fluye a esta zona se mezcla adecuadamente y se hace recircular continuamente contra el gas de aireación que contiene oxígeno por los medios de agitación 312, llevándose a cabo la mezcla de lodo y gas de aireación en cantidad y con velocidad suficientes para la digestión aerobia de lo-

do en la zona 310. Se mantiene el lodo en la zona de digestión aerobia a temperatura termófila comprendida entre 45° y 75°C durante un tiempo de permanencia comprendido entre 4 y 48 horas. Se descarga gas agotado en oxígeno procedente de la primera zona de digestión en el conducto 318 y se descarga por separado de la zona de digestión, por el conducto 316, lodo parcialmente agotado en contenido de sólidos en suspensión biodegradables.

El lodo estabilizado parcialmente, en el conducto 316, se introduce luego en la segunda zona de digestión cubierta 320 que funciona en el intervalo de temperatura mesófila. Como la temperatura del lodo descargado de la primera zona de digestión está comprendida entre 45°C y 75°C, su temperatura se hace disminuir adecuadamente antes de su introducción en la segunda zona de digestión para que puedan ser mantenidas las condiciones preferidas de temperatura mesófila para el proceso de digestión anaerobio mesófilo en la segunda zona de digestión. En la realización ilustrativa la porción menor del lodo que entra en el proceso se hace pasar en derivación al calentador de metano 330 y la zona de digestión aerobia 310 por el conducto 329 y se mezcla directamente con el lodo caliente en el conducto 316. El caudal de la corriente derivada de lodo de entrada se ajusta para que la temperatura de la corriente de lodo combinado introducido en la zona de digestión anaerobia 320 sea suficiente para mantener una temperatura de operación en la zona 320 comprendida entre 35°C y 40°C.

En la segunda zona de digestión el lodo se mezcla por recirculación de gas metano contra el lodo existen-

te en ella para mantener activamente el grado de estabilización en la segunda zona, en niveles altos. El gas metano producido como resultado de las reacciones bioquímicas que tienen lugar en la segunda zona de digestión

5 320 se descarga de ésta por el conducto 323. Una corriente secundaria de este gas se desvía al circuito de flujo 340 que tiene dispuesto en él el compresor 326 y el gas metano comprimido resultante se introduce en el lodo en la segunda zona de digestión, como por ejemplo por medios

10 de burbujeo (que no se muestran), efectuando la mezcla y recirculación de lodo antes mencionadas. Desde el conducto 323, puede hacerse pasar una porción del gas metano por el conducto 327 a la caldera que quema metano 330 y el resto se descarga desde el sistema del proceso por el

15 conducto 328. El lodo estabilizado adicionalmente, que contiene menos del 40% del contenido primitivo de sólidos en suspensión volátiles biodegradables del lodo de entrada al sistema del procedimiento en el conducto 331, se descarga desde la segunda zona de digestión por el conduc-

20 to 325, para tratamiento adicional (por ejemplo deshidratación) y/o desecho final.

Las ventajas de esta invención se ilustran mediante los ejemplos siguientes:

25

#### Ejemplo I

Este ejemplo compara el rendimiento de la presente invención efectuada según la realización de la Figura 2, con un sistema anaerobio convencional de alta velocidad. La descripción ulterior será basada en el tratamiento de lodo residual procedente de una instalación

30

de tratamiento de agua residual de 38 millones de litros por día (MLD), y haciendo referencia al diagrama esquemático de la Fig. 2.

5 Se carga al sistema de digestión del proceso de la Fig. 2 por el conducto 111 un lodo combinado primario y secundario 50-50, inicialmente a 18°C. El lodo, que posee un contenido de sólidos en suspensión totales de 39.400 mg/litro y una fracción de sólidos en suspensión volátiles/sólidos en suspensión totales de 72%, se carga  
10 al sistema a un caudal de 0,34 MLD. Para mantener el lodo en la zona de digestión aerobia 110 a una temperatura de operación de 50°C con un tiempo de permanencia de lodo de 24 horas, el lodo de entrada se calienta a aproximadamente 23°C por la caldera de metano 130. Basándose en una  
15 eficacia de conversión de 50% del valor combustible del gas metano a calor, se necesita suministrar la caldera 130 aproximadamente 708 metros cúbicos por día del gas metano producido en la zona de digestión anaerobia.

20 Se obtiene una reducción de sólidos en suspensión volátiles de aproximadamente 8% (16% de sólidos en suspensión volátiles biodegradables; los sólidos en suspensión volátiles biodegradables constituyen aproximadamente el 50% de los sólidos en suspensión volátiles totales) en la digestión aerobia, de modo que un lodo parcialmente digerido con un contenido de sólidos en suspensión  
25 volátiles de 26.100 mg/litro se carga por el conducto 114 a la sub-zona de acidificación 120a. Esta sub-zona se hace funcionar a temperatura termófila con un tiempo de permanencia de lodo de 24 horas. Se efectúa en esta fase una  
30 reducción de 10% de la fracción de sólidos en suspensión

volátiles de entrada. Un lodo con un contenido de sólidos en suspensión volátiles de 23.500 mg/litro se descarga después a la sub-zona de fermentación metánica 120b por el conducto 126. Se separa suficiente calor del lodo descargado en el cambiador de calor 115, para asegurar una temperatura de operación de 38°C en la sub-zona de fermentación metánica 120b.

La sub-zona de fermentación metánica se hace funcionar con un tiempo de permanencia de lodo de 5 días, lo que da como resultado una reducción global de sólidos en suspensión volátiles de 40% para el sistema integrado (reducción de 80% de sólidos en suspensión volátiles biodegradables). La sub-zona de fermentación metánica produce aproximadamente 2.067 metros cúbicos de gas metano por día, que ascienden a un valor combustible total de 10,8 millones de kcal. por día. Ya que se necesitan 708 metros cúbicos de gas metano por día para hacer funcionar la caldera de metano 130, 1.359 metros cúbicos de gas metano por día, que ascienden a un valor combustible total de 7,3 millones de kcal por día, se encuentran disponibles para exportar desde el sistema de digestión de lodo. Si los 0,34 MLD de lodo combinado sobre los que se basa la descripción anterior se hacen pasar en su lugar a un depósito de digestión anaerobia convencional de alta velocidad sería necesario un tiempo de permanencia de lodo de aproximadamente 13 días para conseguir la misma reducción de sólidos volátiles. Aun cuando se producen por el depósito digester de alta velocidad convencional, 3.622 metros cúbicos de gas metano por día, lo que asciende a aproximadamente 19,4 millones de kcal por día, se necesitan apro-

ximadamente 15,12 millones de kcal por día de calentamiento, a una conversión de 50% de valor combustible a calor, para mantener condiciones óptimas de temperatura de operación en el depósito de alta velocidad. Así, el sistema convencional, comparado con la realización de la presente invención antes descrita requiere 86% más de capacidad de depósito, basado en los requisitos del tiempo de permanencia, y tiene disponible para exportar aproximadamente 40% menos metano bajo condiciones operatorias normales.

5

10

#### Ejemplo II

Este ejemplo describe una operación específica de la presente invención según la realización de la figura 5. La alimentación del lodo de entrada comprende 0,23 MLD de un lodo combinado primario y secundario, 50-50, procedente de una instalación de tratamiento de agua residual. La corriente de lodo de entrada en el conducto 311 a 20°C y 4% de sólidos en suspensión totales (SSV/SST=0,75) se divide, fluyendo 0,17 MLD por el conducto 331 directamente a la zona de digestión aerobia termófila y 0,06 MLD que forman la corriente pasada en derivación, por el conducto 329. En tanto la temperatura y la concentración de sólidos en suspensión del lodo en el conducto 311 sea suficientemente alta para favorecer la operación autotérmica en la zona de digestión aerobia termófila 310, no hay necesidad en este caso de calentar el lodo antes de introducirlo en la zona aerobia. El tiempo de permanencia en la primera zona de digestión 310 es de aproximadamente 24 horas y, como se ha indicado, las temperaturas termófilas en ella son alcanzadas autotérmicamente. Se

15

20

25

30

descarga de la zona de digestión aerobia por el conducto 316 un lodo pasteurizado a temperatura de 50°C y se mezcla con la corriente fría pasada en derivación procedente del conducto 329. Esta corriente de lodo combinado fluye después a la zona de digestión anaerobia 320 en la que el lodo se mantiene en ausencia de oxígeno durante aproximadamente 8 días resultando una reducción global de aproximadamente 40% de sólidos volátiles (reducción de 80% de sólidos en suspensión volátiles biodegradables). La zona de digestión anaerobia produce gas metano en una proporción de aproximadamente 2.039 metros cúbicos por día, que ascienden a aproximadamente 10 millones de kcal. por día. Todo este metano se encuentra disponible para exportar desde el sistema del procedimiento.

Si los 0,23 MLD de alimentación de lodo de entrada combinado se hacen pasar en su lugar a un depósito de digestión anaerobia convencional de alta velocidad se necesitaría un tiempo de permanencia de 15 días aproximadamente para conseguir la misma reducción de sólidos volátiles. Aunque se producen mediante el depósito de digestión anaerobia convencional 2.549 metros cúbicos por día de gas metano, que ascienden a aproximadamente 12,6 millones de kcal. por día, se necesitan aproximadamente 11,3 millones de kcal. por día, a una conversión de valor combustible a calor de 50%, para mantener condiciones óptimas de temperatura de operación anaerobia en el depósito de alta velocidad. Por consiguiente, en este caso, un sistema de digestión anaerobia convencional requiere aproximadamente un tiempo de permanencia de lodo 65% mayor pero genera sólo un equivalente de energía de gas neto de 1,26 millones de kcal. por

día en comparación con 10 millones de kcal. por día para el sistema combinado. Por consiguiente, después de usar el gas metano generado internamente como fuente de calor, el sistema convencional tiene sustancialmente menos gas metano disponible para exportar que el procedimiento de la presente invención.

### Ejemplo III

Este ejemplo compara la actuación de la presente invención cuando se hace funcionar según la realización de la Figura 1 con un sistema convencional anaerobio de alta velocidad.

Un lodo secundario procedente de un sistema de tratamiento de agua residual por oxigenación, inicialmente a 15°C, se calienta primeramente en el cambiador de calor 22 con efluente del digester anaerobio y después se calienta con efluente del digester aerobio termófilo en el cambiador de calor 15. La primera etapa de intercambio de calor en el cambiador de calor 22, eleva la temperatura del lodo que entra desde 15°C a aproximadamente 25°C, mientras que hace disminuir la temperatura del efluente de lodo estabilizado procedente de la zona de digestión anaerobia 20, desde aproximadamente 35°C a 25°C. La segunda etapa de intercambio de calor en el cambiador de calor 15 hace aumentar la temperatura del lodo que entra hasta aproximadamente 30°C, mientras que el lodo descargado de la zona de digestión aerobia 10 se reduce en temperatura desde aproximadamente 50°C a 45°C. El lodo que entra, que posee un contenido de sólidos totales (SSIM) de 34.400 mg/litro y una fracción de sólidos en suspensión volátiles/sólidos

en suspensión totales de 78%, se introduce en la primera zona de digestión 10 en la proporción de 0,23 MLD. Se mantiene una temperatura de operación de 50°C con un tiempo de permanencia de lodo de 24 horas en la primera zona aerobia.

5

Se consigue una reducción de aproximadamente 16% de sólidos en suspensión volátiles (reducción de 32% de sólidos en suspensión volátiles biodegradables) en la etapa aerobia, de modo que un lodo estabilizado parcialmente con un contenido de sólidos en suspensión volátiles de 22.500 mg/litro, se introduce, después de intercambio de calor con el lodo que entra en el cambiador de calor 15, en la zona de digestión anaerobia, por el conducto 16.

10

La zona de digestión anaerobia funciona con un tiempo de permanencia de 8 días, lo que da como resultado una reducción global de sólidos en suspensión volátiles de 42% (reducción de 84% de sólidos en suspensión volátiles biodegradables) para el sistema integrado. La zona de digestión anaerobia 20 produce aproximadamente 1.466 metros cúbicos de gas metano por día, que ascienden a un valor combustible total de aproximadamente 7,06 millones de kcal. por día. Todo este gas metano se encuentra disponible para exportar procedente del sistema de digestión.

15

20

25

Si los 0,23 MLD de lodo de entrada en el procedimiento de digestión antes descrito se hicieran pasar a un depósito de digestión anaerobia de alta velocidad convencional, sería necesario por lo menos un tiempo de permanencia de lodo de 14 días para conseguir la misma reducción de sólidos en suspensión volátiles. Aún cuando se

30

06118

5 producen 2394 metros cúbicos de gas metano por día en tal sistema convencional de alta velocidad, que ascienden a 11,8 millones de kcal. por día, se necesitan aproximadamente 11,3 millones de kcal. por día, a una conversión de valor combustible a calor de 50%, para mantener condiciones óptimas de temperatura de operación en el depósito de alta velocidad. Por consiguiente el sistema anaerobio convencional requiere aproximadamente 55% más capacidad de depósito, y tiene aproximadamente 6,55 millones de kcal. de gas metano por día menos para exportar, que el sistema de la presente invención aquí descrito.

10 Aún cuando han sido descritas con detalle realizaciones preferidas, se apreciará que se consideran otras realizaciones con modificación de las características descritas, como incluidas dentro del alcance de la invención. Por ejemplo, la etapa de digestión aerobia del presente procedimiento puede ser llevada a cabo en depósitos de tratamiento en serie o en un estanque dividido en donde los depósitos constituyentes de la serie o los volúmenes separados en el estanque dividido actúan como sub-zonas de la zona de digestión aerobia. De tal modo, la zona de digestión aerobia puede proporcionarse en forma de una cámara de digestión de lodo con compartimientos múltiples para el flujo escalonado, en el mismo sentido, de lodo y gas de aireación; tal configuración de zona de digestión aerobia es bien conocida por los expertos en la técnica y se describe por ejemplo en la Patente de Estados Unidos N.º. 3.926.794 antes mencionada, de N.P. Vahldieck.

## REIVINDICACIONES

Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los que se recogen en las reivindicaciones siguientes:

5  
10  
15  
20  
25  
30

1ª.- Un procedimiento de digestión de lodo que comprende las etapas de: (a) introducir dicho lodo y gas de alimentación de aireación que comprende por lo menos 20 por ciento de oxígeno (en volumen) en una primera zona de digestión y mezclarlos en ella en cantidad y con la velocidad suficientes para la digestión aerobia del lodo, al mismo tiempo que se mantiene el contenido de sólidos en suspensión totales (SSLM) del lodo por lo menos en 20.000 mg/l y la temperatura del lodo entre 35º y 75ºC en dicha primera zona de digestión; (b) continuar la digestión aerobia de la etapa (a) durante un tiempo de permanencia de lodo (duración) entre 4 y 48 horas para reducir parcialmente el contenido de sólidos en suspensión volátiles biodegradables del lodo introducido en dicha primera zona de digestión, y descargar de dicha primera zona de digestión lodo estabilizado parcialmente; (c) digerir anaeróbicamente el lodo estabilizado parcialmente descargado de dicha primera zona de digestión en una segunda zona de digestión cubierta, mientras se mantiene la temperatura del lodo en ella entre 25º y 60ºC durante un tiempo de permanencia de sólidos (duración) suficiente para reducir adicionalmente el contenido de sólidos en suspensión volátiles biodegradables a menos de aproximadamente el 40 por ciento del contenido de sólidos en suspensión volátiles biodegradables del lodo

introducido en la primera zona de digestión en la etapa (a), y formar gas metano; y (d) descargar el lodo estabilizado adicionalmente y dicho gas metano de dicha segunda zona de digestión.

5

2ª.- Un procedimiento según la reivindicación 1ª, caracterizado porque dicha digestión aerobia se lleva a cabo para obtener una utilización de al menos 0,03 kg de oxígeno por kg de sólidos en suspensión volátiles (SSV) en dicho lodo introducido a dicha primera zona de digestión.

10

3ª.- Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1ª o 2ª, en el que dicho gas de alimentación de aireación que contiene oxígeno y dicho lodo se mezclan en dicha primera zona de digestión en cantidad y con la velocidad suficientes para obtener la utilización de 0,10 a 0,35 kg de oxígeno por kg de sólidos en suspensión volátiles (SSV) en dicho lodo introducido en dicha primera zona de digestión.

15

20

4ª.- Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1ª, 2ª ó 3ª, en el que el contenido de sólidos en suspensión volátiles biodegradables del lodo introducido en dicha primera zona de digestión se reduce entre 5 y 20 por ciento en dicha primera zona de digestión.

25

5ª.- Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1ª, 2ª ó 3ª, que comprende disponer dicha primera zona de digestión con una cubierta para formar un espacio gaseoso por encima del lodo contenido en ella y en donde dicho gas de alimentación de aireación comprende por lo menos 50 por ciento de oxígeno (en volumen).

30

6ª.- Un procedimiento según la reivindicación 5ª,

que comprende hacer recircular uno de los fluidos del gas de aireación y del lodo contra el otro fluido en dicha primera zona de digestión y descargar gas de digestión agotado en oxígeno de por lo menos 21 por ciento de oxígeno (en volumen) de dicha primera zona de digestión separadamente de dicho lodo estabilizado parcialmente descargado de ella.

7ª.- Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1ª, 2ª ó 3ª, en el que dicho lodo introducido en dicha primera zona de digestión posee un contenido de sólidos en suspensión totales comprendido entre 20.000 y 80.000 mg/litro.

8ª.- Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1ª, 2ª ó 3ª, en el que el tiempo de permanencia de lodo (duración) de dicho lodo en dicha primera zona de digestión está comprendido entre 12 y 30 horas.

9ª.- Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1ª, 2ª ó 3ª, en donde dicho lodo se calienta antes de dicha introducción en dicha primera zona de digestión para mantener dicha temperatura entre 35°C y 75°C en dicha primera zona de digestión.

10ª.- Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1ª, 2ª ó 3ª, en donde dicha temperatura del lodo en la segunda zona de digestión se mantiene entre 35°C y 40°C para la digestión mesófila de lodo en dicha segunda zona de digestión.

11ª.- Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1ª, 2ª ó 3ª, en donde dicha temperatura del lodo en la segunda zona de digestión se mantiene en-

tre 45° y 50°C durante la digestión termófila de lodo en dicha segunda zona de digestión.

5 12ª.- Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1ª, 2ª ó 3ª, en el que el tiempo de permanencia del lodo contenido en la segunda zona de digestión es suficiente para reducir adicionalmente el contenido de sólidos en suspensión volátiles biodegradables del lodo a menos de aproximadamente el 20% del contenido de sólidos en suspensión volátiles biodegradables del lodo introducido en dicha primera zona de digestión en la etapa (a).

10 13ª.- Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1ª, 2ª ó 3ª, en donde el tiempo de permanencia de lodo del lodo contenido en la segunda zona de digestión está comprendido entre 4 y 12 días.

15 14ª.- Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1ª, 2ª ó 3ª, en el que cada una de dichas primera y segunda zonas de digestión tiene una relación de superficie a volumen inferior a  $2,62 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .

20 15ª.- Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1ª, 2ª ó 3ª, en donde el lodo en dicha segunda zona de digestión se mezcla por recirculación de gas metano contra el lodo existente en ella.

25 16ª.- Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1ª, 2ª ó 3ª, en donde dicho gas de alimentación de aireación se calienta antes de dicha introducción en dicha primera zona de digestión para mantener en ella dicha temperatura comprendida entre 35° y 75°C.

30 17ª.- Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1ª, 2ª ó 3ª, en donde dicho lodo se ca-

liente antes de dicha introducción en dicha primera zona de digestión mediante intercambio de calor indirecto con dicho lodo estabilizado adicionalmente descargado de dicha segunda zona de digestión.

5                   18ª.- Un procedimiento según la reivindicación 17ª, en donde dicha temperatura de lodo en la segunda zona de digestión se mantiene entre 35º y 40ºC y dicho lodo calentado se calienta adicionalmente antes de dicha introducción en dicha primera zona de digestión mediante intercambio de calor indirecto con dicho lodo estabilizado  
10                   parcialmente, descargado de dicha primera zona de digestión.

                  19ª.- Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1ª, 2ª ó 3ª, en donde dicha segunda zona de digestión comprende una sub-zona de acidificación y una sub-zona de fermentación metánica, se introduce lodo  
15                   parcialmente estabilizado procedente de dicha primera zona de digestión en dicha sub-zona de acidificación manteniéndose en ésta durante un tiempo de permanencia de lodo de 24 a 60 horas para la acidificación del lodo, y  
20                   se descarga lodo acidificado procedente de dicha sub-zona de acidificación introduciéndolo en dicha sub-zona de fermentación metánica, manteniéndole en ella a una temperatura de 35º a 40ºC durante un tiempo de permanencia de lodo  
25                   comprendido entre 4 y 8 días.

                  20ª.- Un procedimiento según la reivindicación 19ª, en el que se mantiene el lodo en dicha sub-zona de fermentación metánica a una temperatura de 37º a 38ºC.

                  21ª.- Un procedimiento según la reivindicación 19ª, en el que se mantiene el lodo en dicha zona de aci-

30

06118

dificación a una temperatura comprendida entre 45° y 75°C y se enfría el lodo acidificado descargado de dicha sub-zona de acidificación a una temperatura comprendida entre 35° y 40°C antes de introducirlo en dicha sub-zona de fermentación metánica.

5

22ª.- Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1ª, 2ª ó 3ª, que comprende el tratamiento de agua residual que contiene sólidos en suspensión biodegradables para retirar de ella la DBO y que incluye las etapas de: separar de dicha agua residual un lodo primario que comprende dichos sólidos en suspensión biodegradables y formar un efluente primario agotado en sólidos; mezclar dicho efluente primario y lodo de recirculación y airearlos a una velocidad suficiente y durante un tiempo suficiente para formar un líquido mixto de contenido de DBO reducido; separar el líquido mixto en líquido purificado y lodo activado; y devolver por lo menos la mayor parte del lodo activado para mezclarlo con dicho efluente primario como dicho lodo de recirculación, en donde dicho lodo primario y lodo activado sin devolver se introducen en dicha primera zona de digestión en la etapa (a), como alimentación de lodo para ella.

10

15

20

23ª.- Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1ª, 2ª ó 3ª, en donde dicho gas descargado de dicha segunda zona de digestión se mezcla con gas que contiene oxígeno y se quema como combustible para proporcionar el calor para mantener el lodo en por lo menos una de dichas primera y segunda zonas de digestión, a temperatura elevada.

25

30

24ª.- Un procedimiento según la reivindicación

1 23<sup>a</sup>, en el que se mezcla dicho gas metano y dicho gas que  
contiene oxígeno y se quemó como combustible para proporci-  
onar el calor para mantener el lodo en dicha primera zona  
de digestión a una temperatura comprendida entre 35<sup>o</sup> y 75<sup>o</sup>C.

5 25<sup>a</sup>.- Un procedimiento según cualquiera de  
las reivindicaciones 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> ó 3<sup>a</sup>, en el que la temperatura  
del lodo en la primera zona de digestión se mantiene en el  
intervalo termófilo comprendido entre 45<sup>o</sup> y 75<sup>o</sup>C y la tem-  
peratura del lodo en la segunda zona de digestión se mantie-  
10 ne comprendida entre 30<sup>o</sup> y 60<sup>o</sup>C.

26<sup>a</sup>.- Un procedimiento según la reivindica-  
ción 1<sup>a</sup>, caracterizado porque el contenido de oxígeno disuel-  
to (OD) de dicho líquido mixto se mantiene al menos en 2  
mg/l.

15 27<sup>a</sup>.- Un procedimiento según la reivindica-  
ción 26<sup>a</sup>, en el que dicho lodo introducido en dicha primera  
zona de digestión posee un contenido de sólidos en suspen-  
sión totales comprendido entre 20.000 y 60.000 mg/litro.

20 28<sup>a</sup>.- Un procedimiento según la reivindica-  
ción 26<sup>a</sup>, en el que el tiempo de permanencia de lodo (dura-  
ción) de dicho lodo en dicha primera zona de digestión está  
comprendido entre 12 y 24 horas.

25 29<sup>a</sup>.- Un procedimiento según la reivindica-  
ción 26<sup>a</sup>, en el que dicho lodo se calienta antes de dicha  
introducción en dicha primera zona de digestión, para mante-  
ner dicha temperatura en la etapa (b).

30 30<sup>a</sup>.- Un procedimiento según la reivindica-  
ción 26<sup>a</sup>, en el que dicha temperatura del lodo en la segunda  
zona de digestión se mantiene entre 35<sup>o</sup> y 40<sup>o</sup>C durante la di-  
gestión mesófila en dicha segunda zona de digestión.

1                    31<sup>a</sup>.- Un procedimiento según la reivindicación  
26<sup>a</sup>, en el que dicha temperatura del lodo en la segunda zo-  
na de digestión se mantiene entre 45° y 50°C, durante la di-  
gestión termófila en dicha segunda zona de digestión.

5                    32<sup>a</sup>.- Un procedimiento según la reivindicación  
26<sup>a</sup>, en el que el tiempo de permanencia del lodo en la se-  
gunda zona de digestión es suficiente para reducir adicio-  
nalmente el contenido de sólidos en suspensión volátiles  
10 del contenido de sólidos en suspensión volátiles biodegra-  
dables del lodo introducido en dicha primera zona de diges-  
tión.

15                    33<sup>a</sup>.- Un procedimiento según la reivindicación  
26<sup>a</sup>, en el que el tiempo de permanencia de lodo en la se-  
gunda zona de digestión es de 4 a 12 días.

                    34<sup>a</sup>.- Un procedimiento según la reivindicación  
26<sup>a</sup>, en el que cada una de dichas primera y segunda zonas  
de digestión tiene una relación de superficie a volumen in-  
ferior a  $2,62 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .

20                    35<sup>a</sup>.- Un procedimiento según la reivindicación  
26<sup>a</sup>, en el que el lodo en dicha segunda zona de digestión  
se mezcla mediante recirculación de gas metano contra el  
lodo contenido en ella.

25                    36<sup>a</sup>.- Un procedimiento según la reivindicación  
26<sup>a</sup>, en el que dicho gas de aireación se calienta antes de  
dicha introducción en dicha primera zona de digestión para  
mantener dicha temperatura en la etapa (b).

30                    37<sup>a</sup>.- Un procedimiento según la reivindicación  
26<sup>a</sup>, en el que dicho lodo se calienta antes de dicha intro-  
ducción en dicha primera zona de digestión mediante inter-

1 cambio de calor indirecto con dicho lodo estabilizado adic-  
cionalmente descargado de dicha segunda zona de digestión.

5 38<sup>a</sup>.- Un procedimiento según la reivindicación  
37<sup>a</sup>, en el que dicha temperatura del lodo en la segunda  
zona de digestión se mantiene entre 35<sup>o</sup> y 40<sup>o</sup>C, y dicho  
lodo calentado se calienta adicionalmente antes de dicha  
introducción en dicha primera zona de digestión mediante  
intercambio de calor indirecto con dicho lodo estabilizado  
parcialmente, descargado de dicha primera zona de diges-  
10 tión.

15 39<sup>a</sup>.- Un procedimiento según la reivindicación  
26<sup>a</sup>, en el que dicha segunda zona de digestión comprende  
una sub-zona de acidificación y una sub-zona de fermenta-  
ción metánica, se introduce en dicha sub-zona de acidifi-  
cación lodo estabilizado parcialmente, procedente de di-  
cha primera zona de digestión, y se mantiene en ella du-  
rante un tiempo de permanencia de lodo de 24 a 60 horas  
durante la acidificación del lodo, se descarga lodo acidi-  
ficado desde dicha sub-zona de acidificación y se intro-  
duce en dicha sub-zona de fermentación metánica, mantenién-  
20 dole en ella a una temperatura comprendida entre 35<sup>o</sup> y  
40<sup>o</sup>C durante un tiempo de permanencia de lodo de 4 a 8  
días.

25 40<sup>a</sup>.- Un procedimiento según la reivindicación  
39<sup>a</sup>, en el que se mantiene el lodo en dicha sub-zona de  
fermentación metánica a una temperatura comprendida entre  
37<sup>o</sup> y 38<sup>o</sup>C.

30 41<sup>a</sup>.- Un procedimiento según la reivindicación  
39<sup>a</sup>, en el que se mantiene el lodo en dicha zona de acidi-  
ficación a una temperatura comprendida entre 45<sup>o</sup> y 75<sup>o</sup>C,

y se enfría el lodo acidificado descargado desde dicha sub-zona de acidificación a una temperatura comprendida entre 35° y 40°C, antes de introducirlo en dicha sub-zona de fermentación metánica.

5                   42ª.- Un procedimiento según la reivindicación 26ª, que comprende el tratamiento de agua residual que contiene sólidos en suspensión biodegradables para eliminar de él la DBO y que incluye las etapas de: separar de dicha agua residual un lodo primario que comprende dichos sólidos en suspensión biodegradables para formar un  
10                   efluente primario agotado en sólidos; mezclar dicho efluente primario y lodo de recirculación y airearlos a una velocidad suficiente y durante un tiempo suficiente para formar un líquido mixto de contenido de DBO reducido;  
15                   separar el líquido mixto en líquido purificado y lodo activado; y devolver por lo menos la mayor parte del lodo activado para mezclar con dicho efluente primario como dicho lodo de recirculación, en donde dichos lodo primario y lodo activado sin devolver se introducen en dicha  
20                   primera zona de digestión en la etapa (a), como el lodo para ella.

                  43ª.- Un procedimiento según la reivindicación 26ª, en el que dicho gas metano descargado desde dicha segunda zona de digestión se mezcla con gas que contiene  
25                   oxígeno y se quema como combustible para proporcionar el calor para mantener el lodo en, por lo menos, una de dichas primera y segunda zonas de digestión, a temperatura elevada.

                  44ª.- Un procedimiento según la reivindicación 43ª, en el que se mezclan dichos gas metano y gas que  
30

contiene oxígeno y se quema como combustible para proporcionar el calor para mantener el lodo en dicha primera zona de digestión a una temperatura de 45° a 75°C.

45ª.- Un procedimiento de digestión de lodo.

5

Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los dibujos que se acompañan y para los fines que se han especificado.

Esta Memoria consta de ochenta y siete hojas escritas a máquina por una sola de sus caras.

Madrid, 20. NOV. 1978

P.A.

Alberto de Elizaburo  
Por Poder



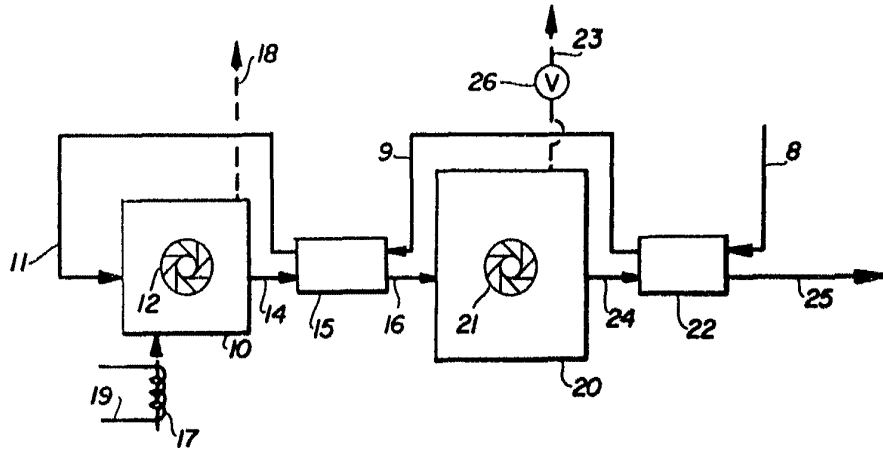


FIG. 1

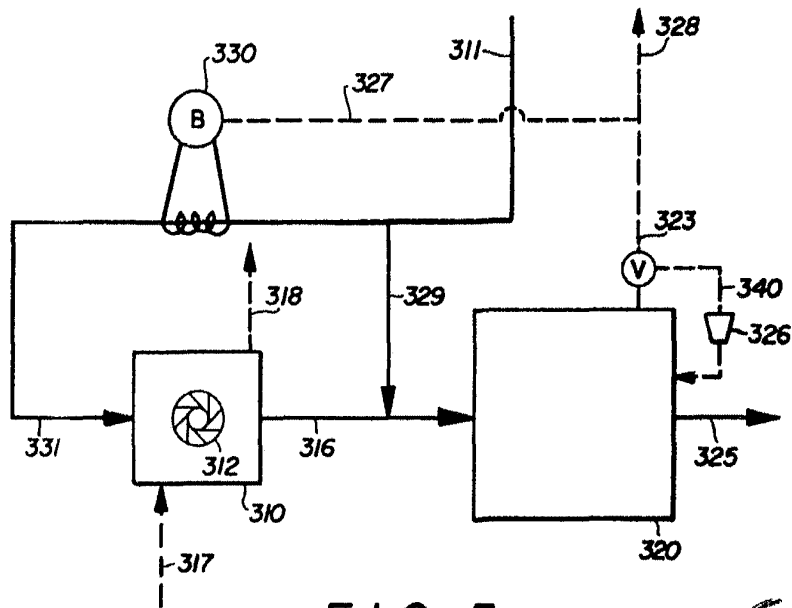


FIG. 5

Alberto de Elzaburu  
For Patent



FIG. 4



Alberto J. ...  
For ...