



3 4 1 . 5

de divulgación técnica

8 5 T R

REFERENCE
WATER SUPPLY

de Aguas

2

EN:

LO:

Casilla 4337, Lima 100, Perú.

Télex: 21052PE CEPIS

No. 27 - junio de 1985

zie: volgende
blz.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN REACTORES ANAEROBICOS,

DE FLUJO ASCENDENTE, EN MANTO DE LODOS

Ing. Miguel Mansur Aisse (*)

1. Introducción

El tratamiento de las aguas residuales, a nivel secundario se revela como un campo promisor a la disposición de los ingenieros e investigadores, principalmente los sistemas de bajo costo de implantación, para competir con el grave panorama de la polución de los cuerpos receptores de agua, o también del reuso inadecuado de los desagües crudos, en los países en desarrollo.

En cuanto al tratamiento anaeróbico, actualmente se ha vuelto a despertar un gran interés, principalmente después de los trabajos desarrollados por Lettinga y colaboradores, y los desarrollados también a nivel regional, en Brasil, por el Instituto de Saneamiento Ambiental (ISAM), de la Universidad Católica de Paraná, y por la Compañía de Saneamiento del Paraná (SANEPAR), entre otros. En Cali, Colombia, se destacan los trabajos desarrollados por la Universidad del Valle. Recientemente se están multiplicando los trabajos de investigación, incluyendo otros sustratos como residuos sólidos urbanos, agropastorales, y aguas residuales industriales.

Los reactores de flujo ascendente, en manto de lodo, objetó de este documento, en cuanto a los desagües domésticos, presentan tasas de aplicación de 1 a 2 kg DQO/m³.día, con eficiencias de remoción de hasta 85%, en la temperatura ambiente (rango de 8 a 20°C). Igualmente se citan, en la bibliografía, tasas tan altas como 50 kg DQO/m³.día y esto hace que el proceso resulte también interesante para el tratamiento de desagües industriales orgánicos (desagües con un alto contenido de DQO por unidad de volumen).

Los subproductos del proceso presentan, en muchas situaciones, un valor económico, como el biogás; y el efluente líquido (lodo) justifica la denominación de bioabono y complemento alimentario. El aspecto más preponderante en el tratamiento ha sido la reducción de la carga orgánica; no obstante se deben investigar, igualmente, aspectos relativos a la calidad bacteriana y a la presencia de parásitos en el efluente.

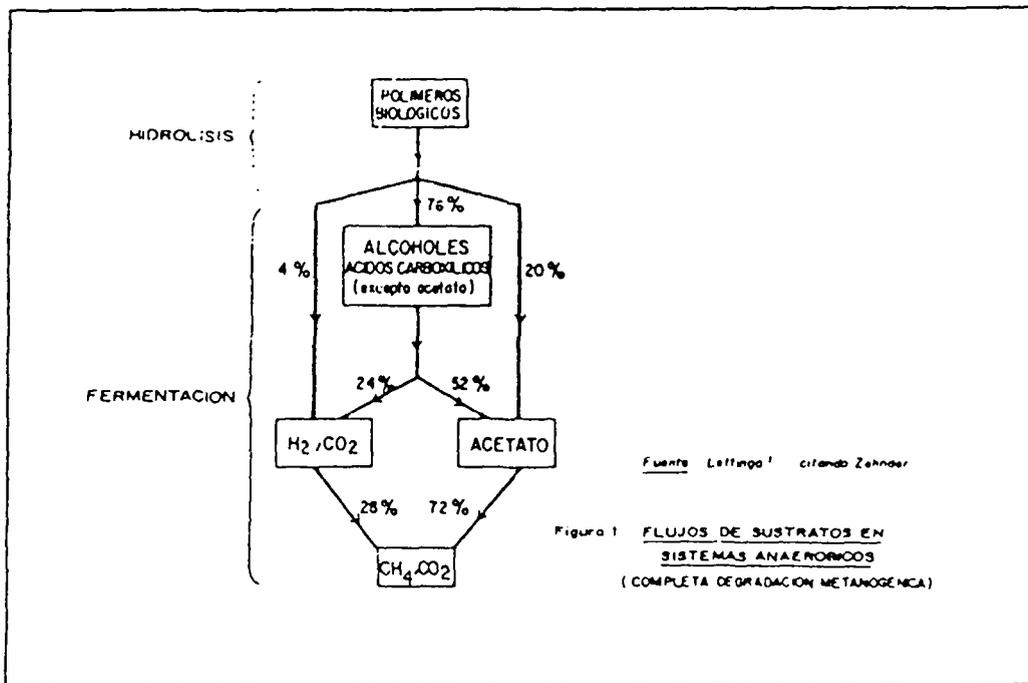
(*) Integrante del Programa de Profesionales Jóvenes del CEPIS. Profesor del ISAM (Instituto de Saneamiento Ambiental) de la Universidad Católica de Paraná y de la Universidad Federal de Paraná (Brasil).

2. Fundamentos del Tratamiento Anaeróbico

2.1 Bioquímica del Proceso

En condiciones anaeróbicas suelen ocurrir diversos procesos: desnitrificación, reducción de sulfatos, hidrólisis y fermentación acetogénica y metanogénica (ver Figura 1 para los dos últimos procesos)¹.

El rol de las bacterias metanogénicas se define por el tipo de sustrato disponible. En el ítem 5 y en las referencias 1, 2, 3, 4 y 5 se muestran varios aspectos referentes a la bioquímica del proceso.

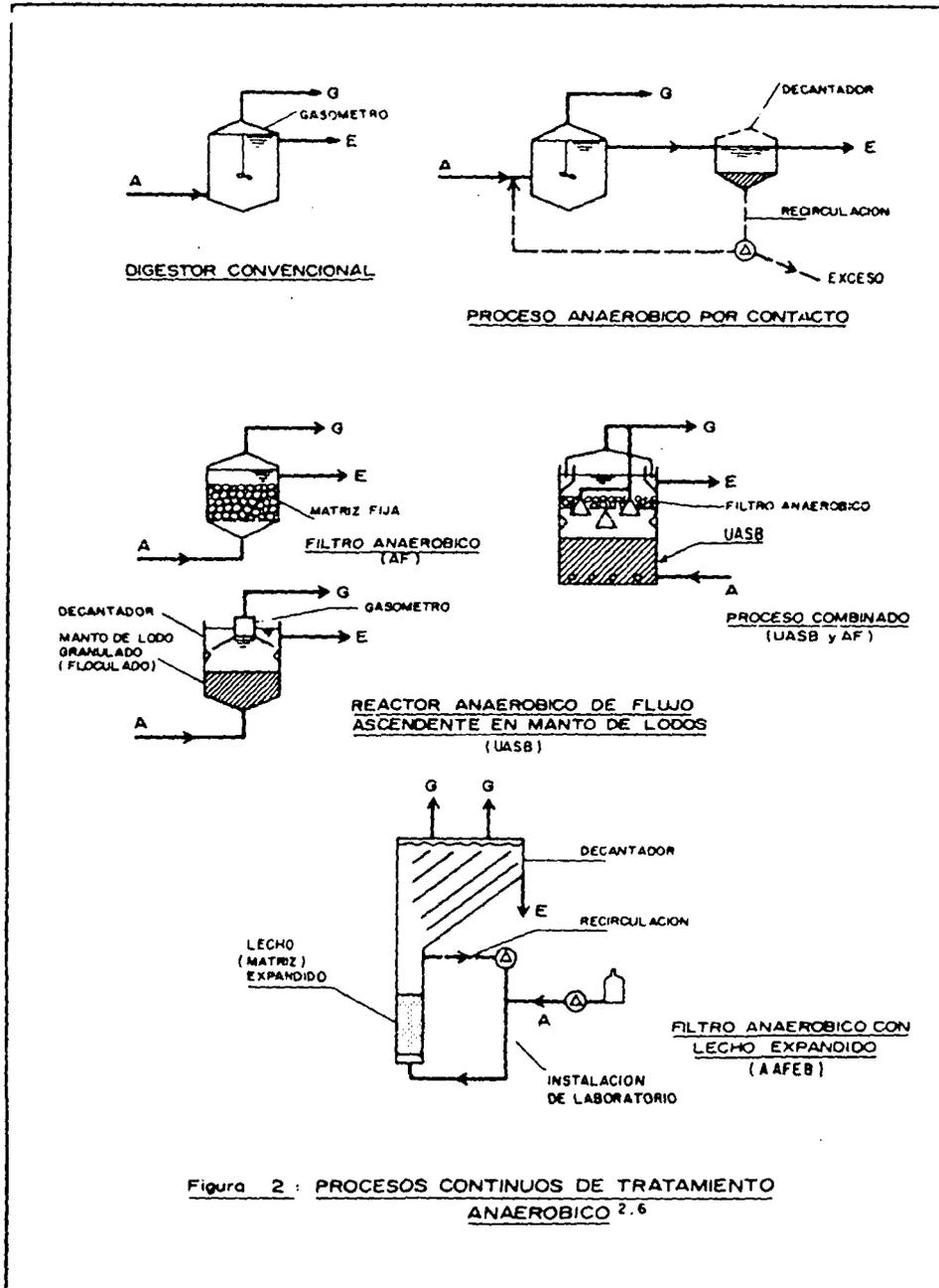


2.2 Procesos de Tratamiento Anaeróbico

Diversos procesos de tratamiento anaeróbico se encuentran disponibles y son aplicados en función de las características del sustrato afluente y del control (manejo) del tiempo de retención de la biomasa (Figura 2)^{2,5}.

La separación de las fases en el tratamiento de desechos solubles complejos, puede parecer atractiva en la eliminación de compuestos tóxicos, en la remoción de nitratos y sulfatos o sulfitos. De esta forma, un reactor acidogénico puede ser utilizado por separado de un reactor metanogénico⁷.

~~6779~~ 2461
341.5 85 TR



3. Reactores de Flujo Ascendente

3.1 Concepto

El proceso anaeróbico de flujo ascendente consiste básicamente de un tanque Imhoff, "al revés", presentando las cámaras de decantación y digestión anaeróbica superpuestas². Las principales condiciones que se deberán encontrar en estos reactores son⁷:

- Una efectiva separación del biogás, del desagüe y del lodo;
- El lodo anaeróbico debe presentar una buena capacidad de sedimentación y, principalmente, se debe desarrollar como un lodo granular;
- El desagüe debe ser introducido en la parte inferior del reactor.

Uno de los aspectos más importantes de los reactores, arriba destacados, es, con toda seguridad, su capacidad de producir el gránulo típico del lodo anaeróbico. Este lodo presenta una alta actividad específica (p.e. 1.0 g DQO/g SSV.día)⁶⁻⁸. Además de estos aspectos se debe citar el bajo valor del IVL, cerca de 50 ml/g o menos, y la velocidad de sedimentación que varía de 2 a 90 m/h en sistemas no "cargados"⁷. De todas formas, el lodo granulado, con una velocidad de sedimentación de 40 m/h, puede flotar en cargas muy altas⁷. Se pueden desarrollar diferentes tipos (formas) de lodo granular, tales como bastón, filamentosos y "con puntas" y esto depende de varios aspectos como son la composición del sustrato y la naturaleza de la puesta en marcha.⁴

Por tratarse de un proceso simple, compacto y no costoso, el reactor de flujo ascendente constituye una alternativa muy interesante para emplearse con desagües domésticos crudos. Es efectivo en temperaturas del orden de los 10°C o más, aunque su uso en condiciones extremas de temperatura no puede ser excluido.

3.2 Aspectos Constructivos

(a) Lettinga y coautores

(a.1) Parámetros⁶

Remoción del DQO (en tiempo seco) = 65 a 85% (T = 8 a 20°C);
Carga hidráulica = 0.6 a 3.8 m³/m³. día (citando varios trabajos);
Carga superficial = 0.04 a 0.16 m/h (citando varios trabajos);
Tiempo de detención = 14 a 17 h;
Velocidad ascensional = 0.13 m/h;
Carga orgánica = 1 a 2 kg DQO/m³. día;
Producción de biogás = 7.1 a 7.3 m³CH₄/PE año (\approx 20% CH₄/hab.día);
Producción de biogás = 0.19 m³ biogás/m³ reactor
Exceso de lodo = 5.0 a 8.6 kg/PE.año;
Población equivalente (PE) = 0.135 kg DQO y 175 l.

(a.2) Carga orgánica

No obstante lo citado anteriormente en Parámetros, se pueden obtener cargas de 50 kg DQO/m³. día cuando el reactor se encuentra todo lleno de lodo granular.

(a.3) Orificios

Se requiere cierto cuidado en cuanto al número de orificios (difusores) en la parte inferior del reactor, a fin de prevenir el acanalamiento ("channeling") del lecho del lodo, así como el elevado riesgo de este proceso cuando se aplica en tratamientos a baja temperatura o en desagües diluidos, debido a la baja producción de gas, inadecuada para la mezcla del lodo⁷. Se sugieren valores de 1 a 5 m²/orificio en función del tipo de lodo y de carga aplicada⁶.

(a.4) Agitación

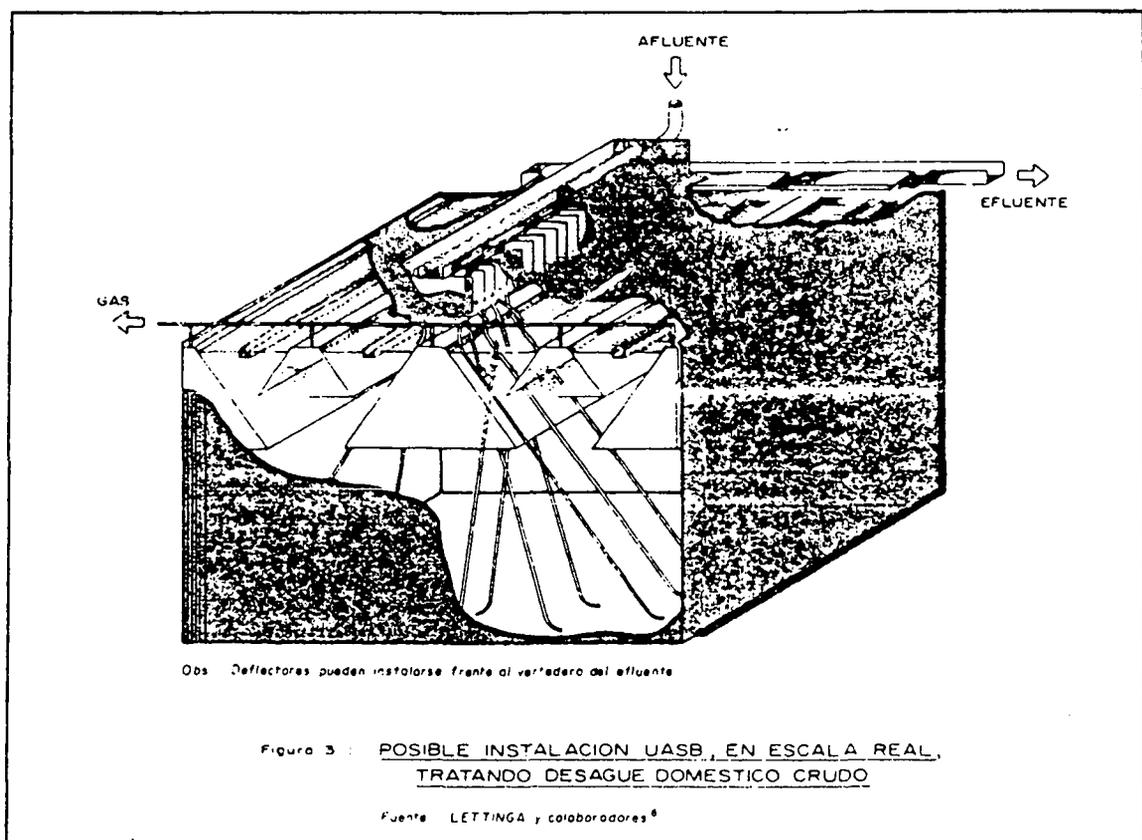
Aunque los reactores experimentales están dotados de agitación interna, éstos escasamente fueron empleados durante el período de investigación⁶. Algunos trabajos más recientes indican que la agitación mecánica afecta adversamente la puesta en marcha de la digestión, cuando se ha utilizado una mezcla de ácidos grasos volátiles como sustrato¹.

(a.5) Sedimentador

El diseño del sedimentador ("Gas - Solid Separator") debe ser de construcción simple, pudiéndose evitar el "compartimiento de expansión" tal como lo ha citado Meer & Vletter⁹, según Lettinga y colaboradores⁷.

(a.6) Diseño

La Figura 3 presenta la concepción del reactor de flujo ascendente tipo UASB ("Up-flow anaerobic sludge blanked").



(b) Meer y coautores⁹

(b.1) Parámetros

Los autores citan que con un lodo bien adaptado, se obtuvo en el reactor una buena separación del lodo con una velocidad ascensional de 1 m/h.

(b.2) Agitación

Durante su ascensión, las burbujas de gas promueven una mezcla en el reactor, ocasionando un buen contacto entre el sustrato y las bacterias. De este modo no es necesario una agitación mecánica.

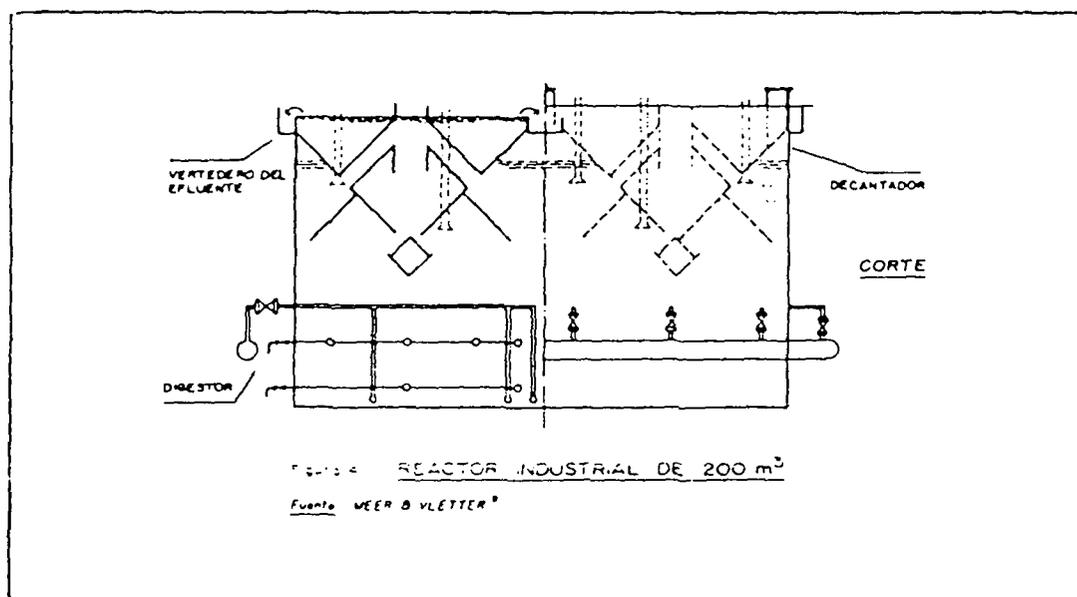
(b.3) Sedimentador

Para la introducción regular del efluente en el decantador y para una remoción regular del lodo, se considera como una de las condiciones más importantes para el éxito de los sedimentadores la aplicación de un "circulation stream" (ver lo citado por Lettinga y colaboradores).

En cuanto a la posición de las placas de fondo del decantador, se considera igualmente importante que éstas se encuentren en un ángulo de aproximadamente 45°.

(b.4) Diseño

La Figura 4 presenta una concepción de reactor de flujo ascendente.



(c) Compañía de Saneamiento del Paraná - SANEPAR

(c.1) Parámetros de diseño¹⁰:

- Biofiltro (Reactor de Flujo Ascendente):
 - carga máxima = 0.2 kg DQO/kg bacteria·día
 - bacterias en el manto de lodo = 50 kg bact/m³ (5%)
 - altura del manto de lodo = 1.50 m
 - velocidad máxima de ascensión en el manto de lodo = 2 m/h
 - tiempo de detención = 5 horas
 - reducción DQO (= DBO_t) = 90%
- Producción de biogás:
 - biofiltro = $\frac{17.7 \text{ g biogás}}{\text{hab}\cdot\text{día}} = \frac{500 \text{ l biogás}}{\text{kg DQO}_{\text{rem}}}$
 - % CH₄ = 65

(c.2) Orificios⁸

El número de orificios por unidad de área varió de 1/3.8 m² a 1/9.4 m².

(c.3) Tiempo de detención

Durante la operación de la ETE de Pirai do Sul, en el reactor de flujo ascendente, se observaron tiempos de detención de 9.5 a 6.7 horas, con cargas de 0.7 a 1.1 kg DQO/m³·día, en las mediciones hechas durante los meses de agosto de 1984 a febrero de 1985. De los volúmenes de cálculo se excluyeron los llamados "volúmenes muertos"⁸.

(c.4) Decantador

La instalación de Pirai do Sul previó, tanto en reactor primario como en el secundario, decantadores en la parte más elevada de la unidad (internos), ocurriendo lo mismo en la de Piraquara^{8,10}. No obstante, se construyeron en otros sitios, reactores (reactor anaeróbico de lecho fluidizado - RALF) sin decantadores, cuyas unidades operan como tratamiento primario⁸.

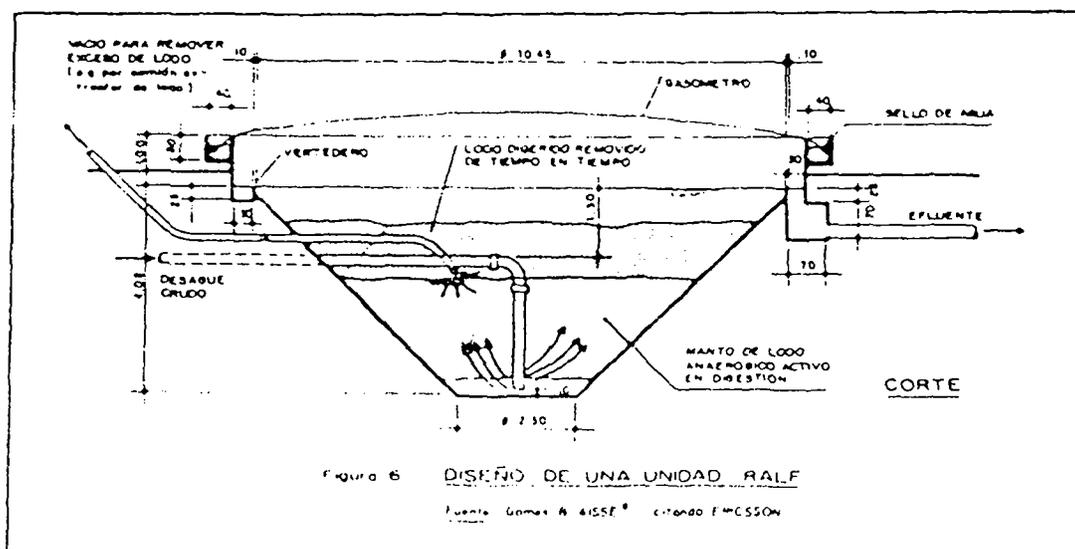
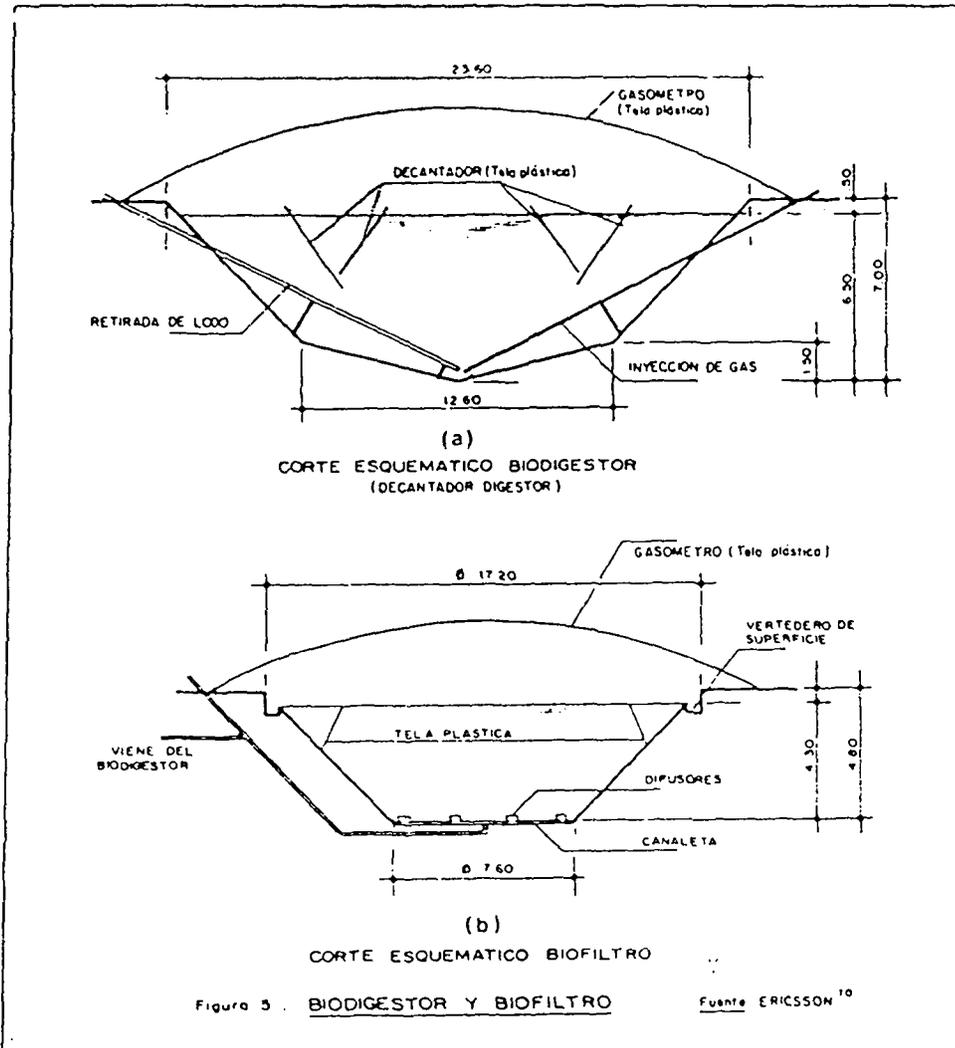
La declividad de las paredes del decantador es de 1.5 : 1.0, ó aproximadamente 60°^{8,10}.

(c.5) Cobertura de la unidad (gasómetro)

Aunque el uso del gasómetro flexible haya sido una característica de muchas unidades implantadas por la SANEPAR¹⁰, en PVC, y posteriormente PVC y Hypalon, resaltaron algunos problemas como son la acumulación de agua y depresión, especialmente en las unidades instaladas en la periferia de Curitiba⁸.

(c.6) Diseño

Las Figuras 5 y 6 presentan algunas concepciones del decantador-digestor y de los reactores de flujo ascendente, incluyendo el RALF.



(d) ISAM/UCP¹¹

Los estudios, iniciados durante el año 1980, tuvieron como objetivo la reducción de los costos de los reactores convencionales (tanques Imhoff) a través de la conversión de las lagunas anaeróbicas en digestores alternativos, con la separación de las cámaras sobrepuestas por medio de telas plásticas (PVC) sumergidas (Ver Figura 7.a). Los reactores fueron posteriormente modificados para trabajar como reactores de flujo ascendente (Figura 7.b).

Las unidades que trabajan como reactores de flujo ascendente, utilizando en su puesta en marcha lodo de tanque séptico, revelaron eficiencias de remoción de la DQO de 45% y de SST de 40% (31/06 al 30/08/84). El tiempo de detención en el digestor fue de 6 horas y la carga aplicada menor que 4 kg DQO/m³ día con una velocidad ascensional de 1,2 a 2,6 m/día. La producción del biogás medida resultó 42 l/kg DQO aplicada, con una composición de cerca de 30% de metano y un alto porcentaje de nitrógeno.

En cuanto a velocidad de sedimentación del lodo, medido en una probeta de 1l, resultó en 1,4 m/h, para una concentración de sólidos totales de 31.839 mg/l.

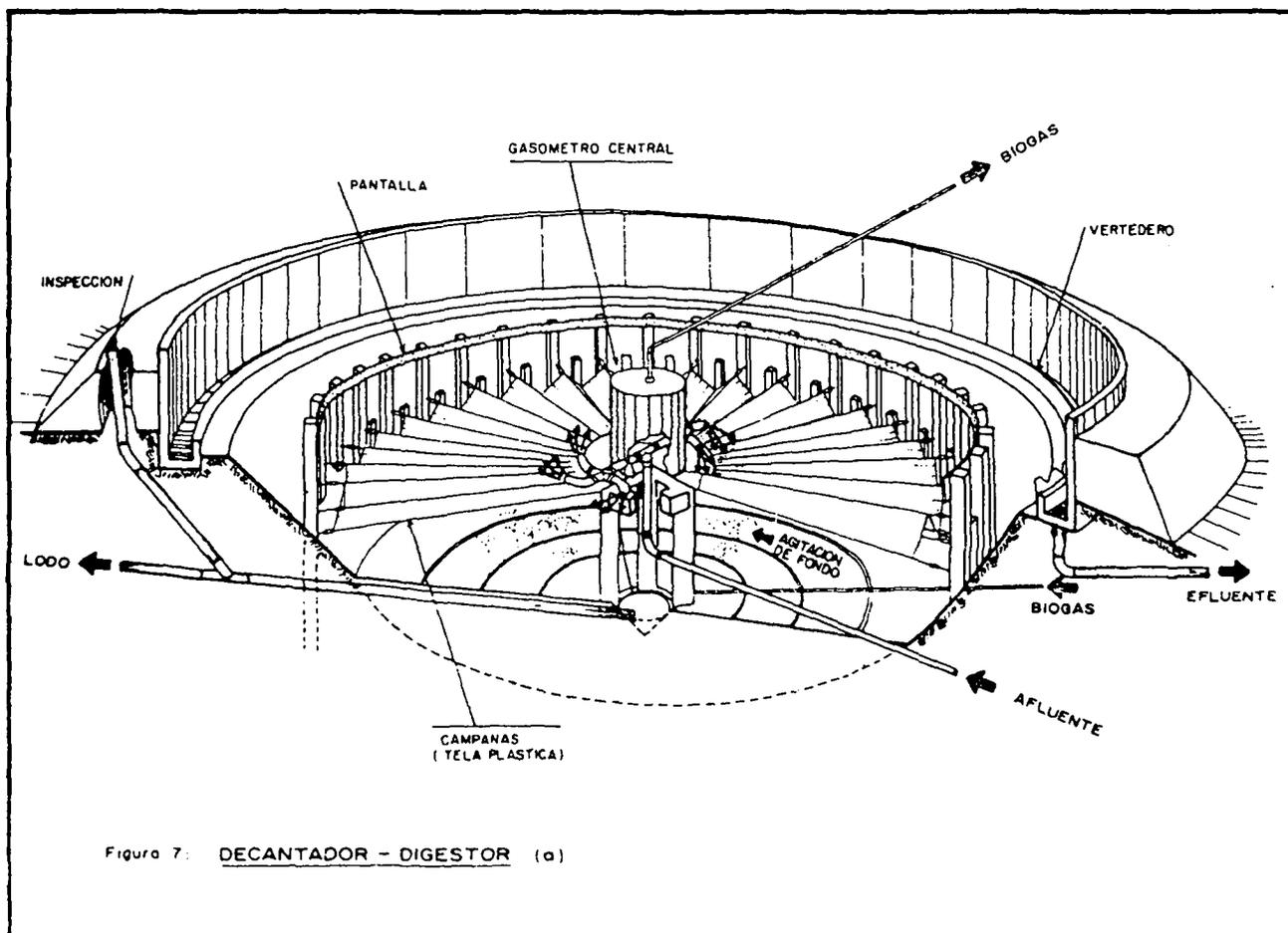
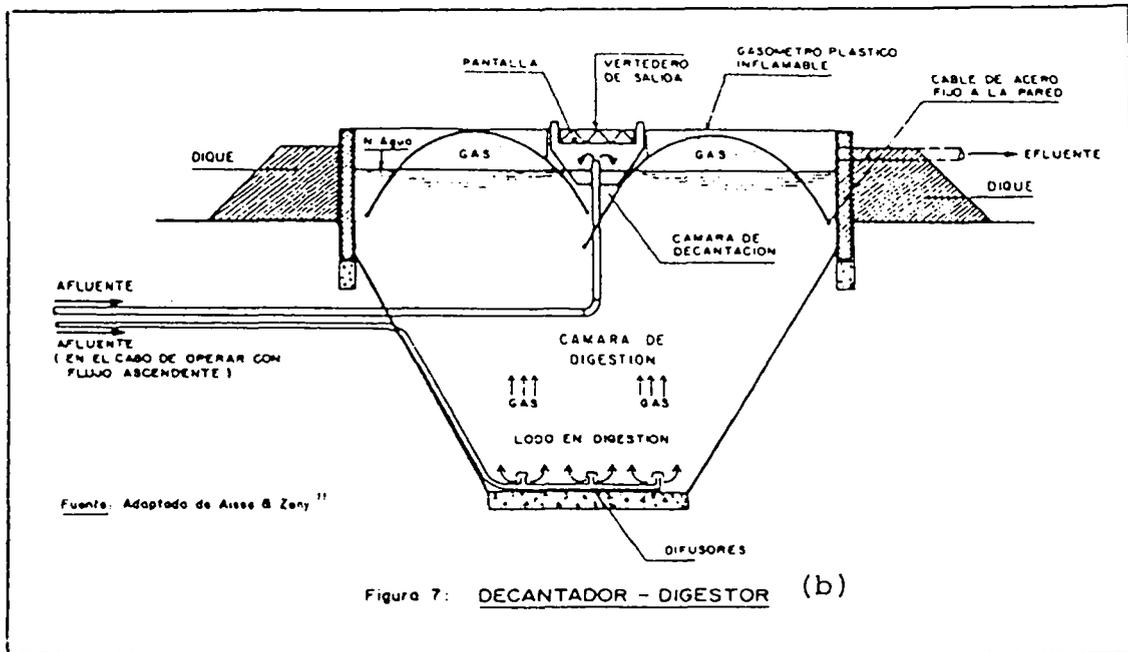


Figura 7: DECANTADOR - DIGESTOR (a)



3.3 Flujograma del Proceso

La instalación piloto construida en la Universidad Católica de Paraná, durante el año 1980, preveía que los reactores inicialmente trabajasen como decantadores-digestores a nivel primario, secundario y terciario². Posteriormente, al tener contacto con los trabajos presentados por Lettinga y colaboradores, Van der Meer y colaboradores, y Jewell & Switzenbaum, se rediseñaron los reactores a fin de que puedan operar como "filtros anaeróbicos semi-fluidizados". Actualmente operan tal como el citado en la Figura 8, Flujograma del Proceso, implantado en Piraí do Sul. En cuanto a esta instalación, la unidad primaria se incluyó más para proteger el sistema de alimentación, de la unidad secundaria, específicamente la obstrucción de los tubos de alimentación y de los difusores⁶.

Se debe destacar el hecho de que la planta de tratamiento presentada en la Figura 8 incluye reactores para tratamiento de aguas residuales domésticas, basura así como residuos agrícolas (líquidos y sólidos)⁶.

Recientemente sólo se está implantando el reactor de flujo ascendente, en unidades pequeñas, precedido de reja y desarenador (pretratamiento)⁶, igual flujograma también ha sido adoptado en Cali¹².

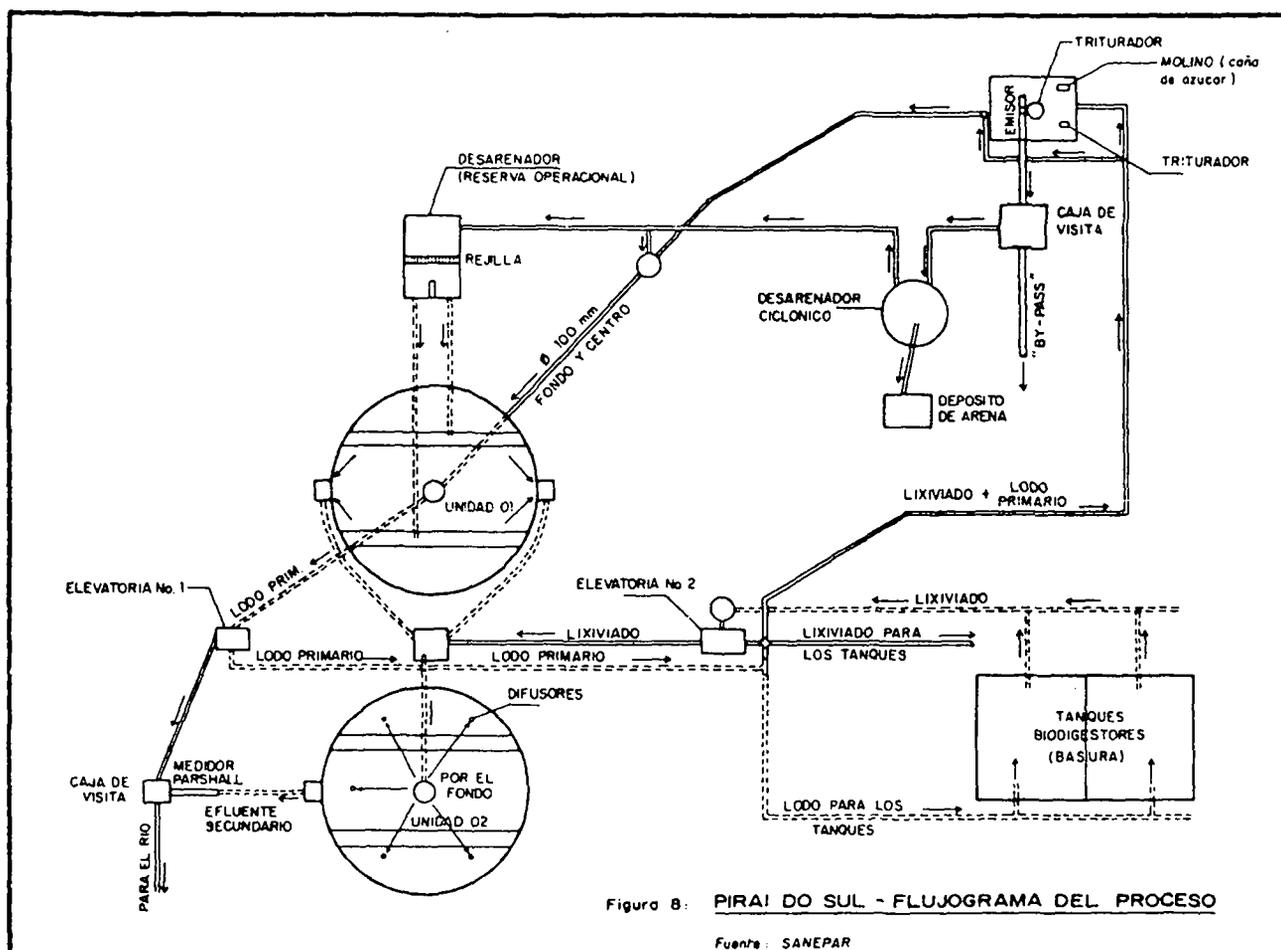


Figura 8: PIRAÍ DO SUL - FLUJOGRAMA DEL PROCESO

Fuente: SANEPAR

4 Subproductos del Tratamiento Anaeróbico

4.1 Biogás

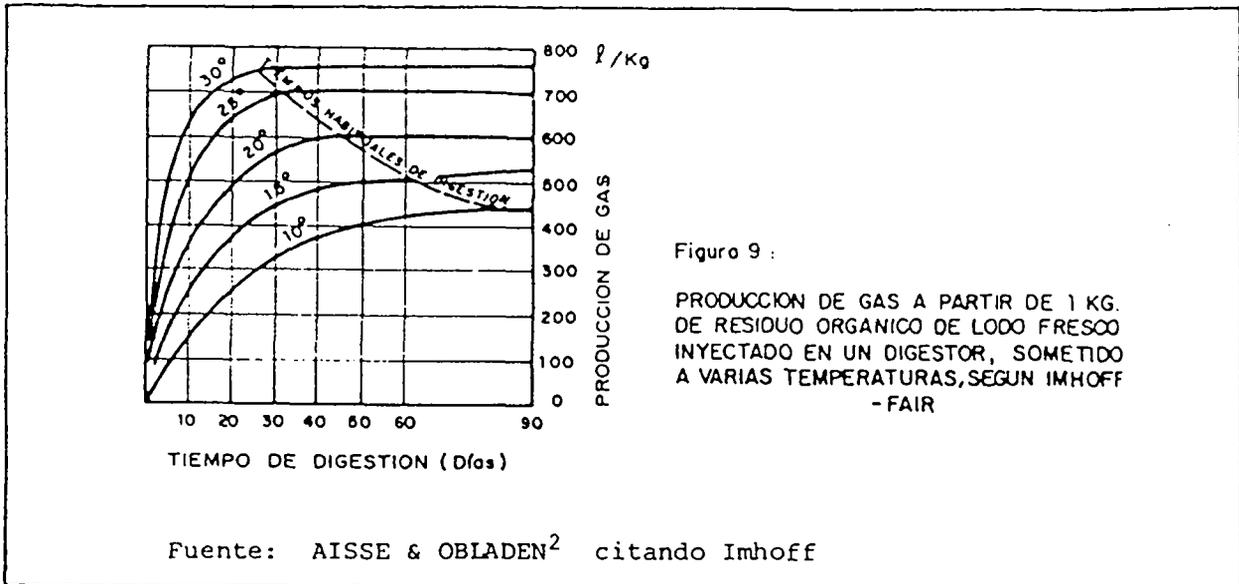
(a) Producción

Como complemento a lo presentado en el ítem 3.2, se muestran valores de producción de biogás en la Figura 9, para reactores convencionales.

(b) Características

Se puede afirmar de manera general que la composición del biogás es de cerca del 70% de metano (CH_4), y 30% de gas carbónico (CO_2), con trazas de gas sulfídrico (H_2S). También se citan pequeños porcentajes de N_2 , H_2 y O_2 ¹³.

Lettinga y colaboradores⁶ observaron en sus experimentos que el contenido de CO_2 fue solamente de 2 a 4%, y el porcentaje de N_2 era relativamente alto; es decir, entre 14 y 22%, originado por el gas (aire) disuelto en el afluente y liberado de la fase líquida, durante el proceso de fermentación.



(c) Consumo de biogás

La Tabla 1 presenta el consumo de biogás en algunas actividades. La SANEPAR, en la ciudad de Pirai do Sul, distribuye el biogás producido, en la digestión de aguas residuales y residuos sólidos urbanos, en aproximadamente 286 residencias, utilizando una red de distribución pública⁶. Se debe destacar también la intensa investigación y desarrollo de tecnología que se observa en Brasil en cuanto al uso automotriz del biogás.

(d) Purificación

Se encuentra en la literatura técnica 2 y 10 la referencia para la remoción de H₂S y del CO₂ contenidos en el biogás. La presencia del primero es objetada debido a problemas de corrosión, y del segundo cuando el objetivo es el uso automotriz.

La Referencia 13 presenta un importante y clásico trabajo sobre el aprovechamiento del "gas de desagües", con información más completa que la citada en el ítem i.i.

4.2 Efluente Líquido

Cuando se usa en los biodigestores el estiércol animal como sustrato, generalmente en los de diseño convencional, práctica muy difundida en la zona rural, el efluente líquido presenta el recurso de su uso como bioabono debido a aspectos como son la disminución de la relación C/N y la solubilización de algunos nutrientes.

Tabla 1
CONSUMO DE BIOGAS EN ALGUNAS ACTIVIDADES

DESTINO	CARACTERISTICAS	CONSUMO PROMEDIO ²
Lamparín	Camiseta 100 velas	0,12 m ³ /h
	Camiseta 500 velas	0,105 m ³ /h/injector ø 1,1
Cocina	Quemador ø 2"	0,32 m ³ /h
	Por persona/día	0,33 m ³ /día
	02 quemadores inyector ø 2,0 ¹	0,50 m ³ /día
Horno	Cocina doméstica	0,44 m ³ /hora
Refrigerador	Quemador Inyector ø 1,1 ¹	0,077 m ³ /h
	Porte mediano	2,20 m ³ /día
Motor	Ciclo Otto	0,45 m ³ /HP·hora
Ducha a gas	Para baño	0,80 m ³
Incubadora	Espacio interno	0,60 m ³ /h
Campana de rayos infra-rojos	1.500 Kcal; inyector ø 2,0 ¹	0,162 m ³ /h
Calentamiento de agua	100 °C	0,08 m ³ /l
Electricidad	1 Kw/h	0,62 m ³ /h

Observaciones:

- ¹ Medidas de "Jackwall" para presión de 150 mm de agua;
- ² Estos valores representan un promedio de 8 autores;
- ³ En cada camada de 1000 pollitos de un día (recibiendo calor por 15 días), se utilizan cerca de dos cilindros de 13 kg en el verano y cerca de tres cilindros en el invierno de GLP (gas/ licuado de petróleo).

FUENTE: AISSE & OBLADEN² citando Parchen

La remoción de patógenos, en reactores tipo UASB exige mayor investigación; sin embargo, Belli & Foresti¹⁴ y Gomes & Aisse⁸ presentan informaciones de remoción de coliformes total y fecal del orden de 1 ciclo en la fase líquida del efluente del reactor.

5. Metodología de Operación y Evaluación del Proceso

5.1 Puesta en Marcha del Proceso

La Tabla 2 presenta, en forma tentativa, una guía para la primera puesta en marcha de un reactor anaeróbico, usando lodo de desagüe digerido como semilla (inóculo). Otros materiales pueden ser utilizados como lodo de estiércol bovino digerido o contenido de tanques sépticos¹⁵.

Tabla 2

GUIA PARA LA PRIMERA PUESTA EN MARCHA DE UN REACTOR UASB,
USANDO LODO DE DESAGUE DIGERIDO COMO SEMILLA (INOCULO)

-
1. Cantidad de lodo sembrado: 10 - 15 kg SSV/m³
 2. Carga inicial: 0.05 - 0.1 kg DQO/kg SSV-día
 3. No aumentar la carga hasta que los ácidos volátiles estén degradados en menos de 80%
 4. Permitir el lavado ("wash-out") de lodo abultado (de sedimentación pobre)
 5. Retener la parte pesada del lodo.
-

Fuente: Lettinga y colaboradores⁷

5.2 Seguimiento de la Biodigestión

Las condiciones necesarias para el buen funcionamiento de un proceso de digestión anaeróbica son las siguientes³:

- No ocurrencia de variaciones bruscas de temperatura;
- mantener el pH, a través de parámetros de proceso o de la adición de "nutrientes", entre 6.5 y 7.5;
- someter el proceso a cargas orgánicas y tiempos de detención hidráulica y celular compatibles con el residuo a ser digerido y con el tipo de digestor empleado;
- no existencia, en el residuo a ser digerido, de cantidades elevadas de compuestos tóxicos como son metales pesados, metales alcalinos y alcalinotérreos;
- no existencia, en el residuo a ser digerido, de cantidades elevadas de compuestos que pueden transformarse en tóxicos durante el proceso como N (NH₄⁺, NH₃), S (S₂⁻), etc.
- no ocurrencia de sobrecargas orgánicas o tóxicas además del límite soportable por el proceso;
- existencia de cantidades de N y P en el residuo, compatibles con la cantidad de carbono.

Los principales parámetros utilizados en la evaluación de un proceso de digestión anaeróbica son los siguientes⁷: volumen y composición de gases producidos, temperatura, pH, ácidos volátiles, alcalinidad, potencial de oxi-reducción, DBO/DQO, sólidos totales y volátiles, C/N/P, amoníaco, sulfatos/sulfitos, metales pesados y metales alcalinos y alcalinotérreos.

Se puede prescindir de muchas de estas determinaciones, dependiendo de las características del residuo.

En el caso de lodo de desagües primarios, el rango de alcalinidad se sitúa entre 2500 y 4000 mg/l como CaCO₃, y los ácidos volátiles oscilan entre 50 y 150 mg/l como HA_C. En cuanto al pH, la mayoría de los autores considera que 6.8 a 7.2 corresponde a una condición óptima, aunque la digestión solo sea posible entre los límites extremos de 6.5 a 7.5. En general, estando los digestores funcionando bien, el E. (potencial de oxi-reducción) es del orden de -500 mV, que indica un elevado estado de anaerobiosis y capacidad reductora del medio. En cuanto a los nutrientes, las proporciones recomendadas son: C/N = 30 y N/P = 5³. En cuanto a los aspectos de la influencia de los compuestos tóxicos en la digestión, puede encontrarse mayores informaciones en la referencia 5.

5.3 Cinética del Tratamiento Anaeróbico

5.3.1 Ecuaciones básicas¹⁴

Para un reactor biológico, podemos expresar:

$$\frac{dX}{dt} = Y \frac{dS}{dt} - bX \quad (1)$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{k X S}{K_s + S} \quad (2)$$

5.3.2 Determinación de los parámetros cinéticos en laboratorio

(a) La determinación de los parámetros Y, b, k y K_s se encuentra descrita por Lettinga¹ y Metcalf & Eddy⁴, en estudios de laboratorio. La Tabla 3 presenta algunos valores típicos obtenidos de un trabajo de Lawrence & McCarty.

Tabla 3
VALOR DE LOS PARAMETROS CINETICOS

Sustrato	Y (mg/mg)	b (d ⁻¹)	k (mg/mg.d)	K _s (mg/l)	T (°C)
Acetato	0.04	0.015	3.6	2130	20
	0.054	0.011	4.7	870	25
	0.058	0.037	4.8	333	30
Propionato	0.04	0.015		3860	20
	0.041	0.04	9.8	613	25
Estearato, Palmitato	0.04	0.015	3.85	4620	20

Fuente: Lettinga¹ citando Lawrence y McCarty

(b) Reactores (ver Figura 10).

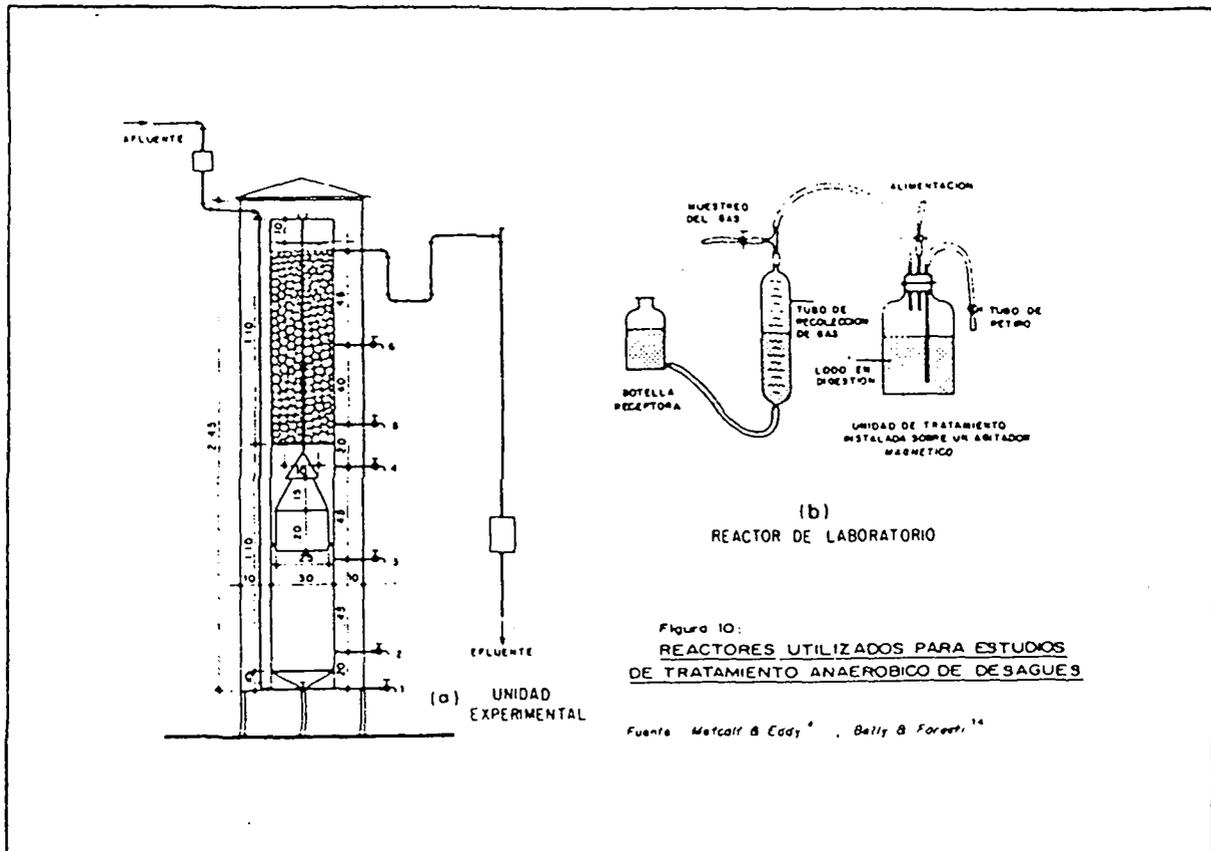


Figura 10:
REACTORES UTILIZADOS PARA ESTUDIOS
DE TRATAMIENTO ANAEROBICO DE DESAGUES

Fuente: Metcalf & Eddy⁶, Bell & Forest¹⁴

5.4 Actividad metanogénica del lodo

El conocimiento de la actividad metanogénica del lodo (actividad específica máxima o $R_{m\max}$), medida en $\text{kg DQO/kg SSV}\cdot\text{día}$, es de gran importancia, para el cálculo de, por ejemplo, la cantidad de inóculo que se requiere para el inicio de un reactor. La metodología para la determinación de este parámetro ha sido descrita por Rodríguez¹⁶. Valcke & Verstraete¹⁷ presentan igualmente un método simple para la determinación del porcentaje de las bacterias metanogénicas acetolásticas (convertidoras de acetato en metano y gas carbónico) presentes en el lodo.

6. Costos

La comparación de los costos de implantación obtenidos, con el costo de otros reactores es de difícil determinación en función de muchas variables involucradas, tales como tamaño de la instalación, necesidad de cimientos, grado de sofisticación, etc.

Lettinga y colaboradores⁷ presentan un estimado de costos que incluyen un pequeño gasómetro, para permitir el uso directo del gas en una industria, una pequeña sala de control y de algunos cambiadores de calor. De este modo, el valor sería de EUA \$ 500,000 a 750,000 para instalaciones de 1,000 m³, y de EUA \$ 2,000,000 a 3,000,000 para 5,000 m³.

Los reactores de flujo ascendente, sin decantador interno, construidos por la SANEPAR, presentan un costo de construcción de EUA\$3.00 a EUA\$5.00 por habitante⁸.

Las referencias 10, 12, 18 y 19 presentan mayores detalles en cuanto a costos de implantación y operación de los reactores UASB simplificados, así como su comparación con otros procesos económicos de tratamiento. Las conclusiones obtenidas sugieren que el reactor tendría un costo de implantación equivalente a una laguna de estabilización anaeróbica, sin embargo, inferior a una laguna facultativa única. Esto para que se alcancen remociones equivalentes de DBO y coliformes.

7. Referencias Bibliográficas

- 1 IPT/FINEP/PNUD. Curso sobre digestão anaeróbia - Enfase no biodigestor de fluxo ascendente (Prof. G. Lettinga). São Paulo, São Paulo, Brasil, enero 1984.
- 2 AISSE, M.M. & OBLADEN, N.L. Tratamento de esgotos por biodigestão anaeróbia. Curitiba, Paraná, Brasil. CNPq, ITAH, IPPUC, UCP, abril 1982, 99 p.
- 3 VIEIRA, S.M.M. & SOUZA, M.E. Métodos analíticos para o acompanhamento da digestão. En: Energia. São Paulo, Brasil. 3(15):26-36. 1981.
- 4 METCALF & EDDY, INC. Biological Unit Process. In: Wastewater Engineering: Treatment, disposal, reuse. New York, McGraw Hill. Cap. 9. p. 393-467. 1979.
- 5 SOUZA, M.E. Factores que influem a digestão anaeróbia. En: Revista DAE. São Paulo, SABESP. 44(137):88-93, 1984.
- 6 LETTINGA, G. y colaboradores. Anaerobic treatment of raw domestic sewage at ambient temperatures using a granular bed UASB reactor. En: Biotechnology and bioengineering. 25:1701-23, 1983.

- 7 LETTINGA, G. y colaboradores. High rate anaerobic wastewater treatment using the UASB reactor under a wide range of temperature conditions. Wageningen, The Netherlands, /S.d./. 27 p.
- 8 GOMES, C.S. & AISSE, M.M. Research at SANEPAR and State of Parana, Brazil, with anaerobic treatment of domestic sewage in full scale and pilot plants. Trabajo presentado en el Seminario/Taller Tratamiento Anaeróbico de Desagües, Universidad de Massachusetts, Amherst, MA, 27-28 junio 1985.
- 9 VAN DER MEER, M.M. & VLETTER, R. Anaerobic treatment of wastewater: the gas-liquid-sludge separator. En: JWPCF. 54(11):1482-1492. noviembre 1982.
- 10 ERICSSON, A.A. Estação de tratamento de esgoto, Piraquara-Paraná, SANEPAR. Trabajo presentado en el I Seminario Nacional sobre Investigación y Desarrollo en el Campo del Saneamiento Básico. Curitiba Paraná, Brasil, SANEPAR. Agosto 1981.
- 11 AISSE, M.M. & ZENY, A.S. Estudo técnico dos biodigestores anaeróbicos alternativos. Relatório final. Curitiba, Paraná, Brasil, ISAM/UCP. Diciembre 1984. 112 p.
- 12 HASKONING y coautores. Anaerobic treatment and Re-use of Domestic Wastewater, Pilot Plant Study, Progress Report No. 3. Cali, Colombia. Setiembre 1984. 65 p.
- 13 AZEVEDO NETTO, J.M. Aproveitamento do Gás de Esgotos. En: Revista DAE. São Paulo, 1961.
- 14 BELLY, P. & FORESTI, E. Remocão de Coliformes em um Reator Anaeróbio Piloto. Trabajo presentado en el XIX Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Santiago, Chile. Noviembre 1984.
- 15 HULSHOFF POL, L.W. et al. Start-up and sludge granulation in UASB reactors. En: Anaerobic wastewater treatment (AWWT). Proceedings of European Symposium, Noordwigkerhout, The Netherlands, 23-25 noviembre 1983. p. 40-3.
- 16 RODRIGUEZ, G.P. Determinación de la actividad metánica de un inóculo por medio de reactores batch. Trabajo presentado en el I Taller Nacional sobre Tecnología Anaeróbica para Aguas Residuales, Cali, Colombia, 17 de octubre de 1984. 16 p.
- 17 VALCKE, D. & VERSTRAETE, W. A practical method to estimate the acetoclastic methanogenic biomass in anaerobic sludge. En: JWPCF. 55(9):1191-5. 1983.

- 18 AISSE, M.M. Protocolo de Investigación, Tratamiento de Desagües Domésticos en Reactores Anaeróbicos, de Manto de Lodo, de Flujo Ascendente. Lima, OPS/CEPIS, mayo 1985. 71 p.
- 19 AISSE, M.M., ROJAS, R.V. & BARTONE, C. Estudio Preliminar Comparativo entre Lagunas de Estabilización y Reactores tipo UASB Simplificados para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas. Lima, OPS/CEPIS (en preparación).