



Tecnología anaerobia en depuración de aguas residuales

D. FERNANDO FDZ-POLANCO
D. PEDRO A. GARCIA ENCINA

*Grupo de Biotecnología Ambiental
Departamento de Ingeniería Química
Universidad de Valladolid*

LOS autores son Catedrático y Profesor titular de Ingeniería Química de la Universidad de Valladolid. Dirigen el Grupo de Biotecnología Ambiental, cuya actividad de investigación y desarrollo se dirige al desarrollo de tecnologías aplicables a la depuración de aguas residuales, urbanas e industriales.

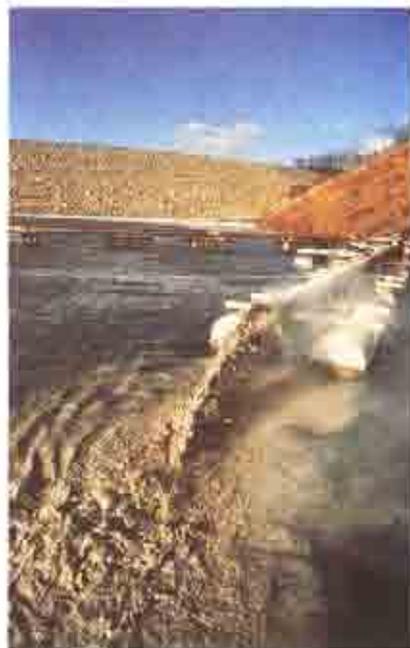
El área principal de especialización del grupo es la depuración anaerobia, campo en el que poseen amplia experiencia, tanto en el sector agroalimentario como en el urbano. Son autores de más de cincuenta publi-

caciones y comunicaciones nacionales e internacionales y organizadores de los Seminarios de Depuración Anaerobia de Aguas Residuales.

RESUMEN

La tecnología anaerobia tiene características favorables respecto a los procesos aerobios convencionales aplicados a la depuración de aguas residuales. Se describen los principales tipos de reactor anaerobio, señalando sus principales características y parámetros de operación. Tras una comparación entre las diferentes tecnologías se pasa revista a sus principales aplicaciones en depuración de aguas residuales industriales y urbanas.

La tecnología anaerobia se presenta como una solución alternativa frente a los procesos aerobios convencionales, o como una etapa de un



La digestión anaerobia ha sido tradicionalmente utilizada en la estabilización de fangos producidos en la depuración aerobia de aguas residuales y en el tratamiento de los residuos de la industria ganadera. En los últimos años, consideraciones energéticas y el desarrollo de nuevas tecnologías han hecho posible la aplicación de los procesos anaerobios al tratamiento directo de aguas residuales.



El tratamiento anaerobio de aguas residuales debe considerarse como una etapa dentro del esquema global de depuración.

proceso que combine adecuadamente procesos anaerobios y aerobios.

En este sentido pueden resultar ilustrativos los datos recogidos en la tabla 1, donde se establecen las diferencias entre un sistema aerobio convencional y un sistema combinado anaerobio + aerobio, aplicados a un caso general de tratamiento de agua residual procedente de una industria agroalimentaria, con un caudal de 100 m³/h y una carga de 4.000 mg DBO₅/l, que pretende verter dentro de los valores límites (DBO₅ < 40 mg O₂/l) de la tabla 3 del Reglamento 849/1986, que desarrolla la Ley de Aguas española.

TECNOLOGIA DE TRATAMIENTO ANAEROBIO

La velocidad de carga orgánica máxima de un proceso anaerobio está limitada por el tiempo de retención y por la actividad de los microorganismos implicados en los mecanismos

bioquímicos de degradación de la materia orgánica.

Puesto que estos microorganismos, y en particular los que convierten CO₂ + H₂ y ácido acético en CH₄, poseen una baja velocidad de crecimiento (tiempo para doblar su masa > diez días), la retención de biomasa activa es la clave de la operación de los reactores anaerobios avanzados, que permiten operar con bajos tiempos hidráulicos de residencia y elevados tiempos de residencia para los sólidos.

Todas las técnicas actualmente empleadas se basan en la propiedad de

las bacterias de formar flóculos por unión con otras bacterias o de adherirse sobre superficies sólidas. En este sentido, las técnicas de retención de los microorganismos en el reactor son:

- Separación externa y recirculación.
- Sedimentación interna.
- Inmovilización sobre superficies sólidas.

La aplicación de estas técnicas conducen a los modelos de reactor que aparecen en la tabla 2.

Por lo que respecta a la actividad de los microorganismos, puede conseguirse un comportamiento óptimo mediante:

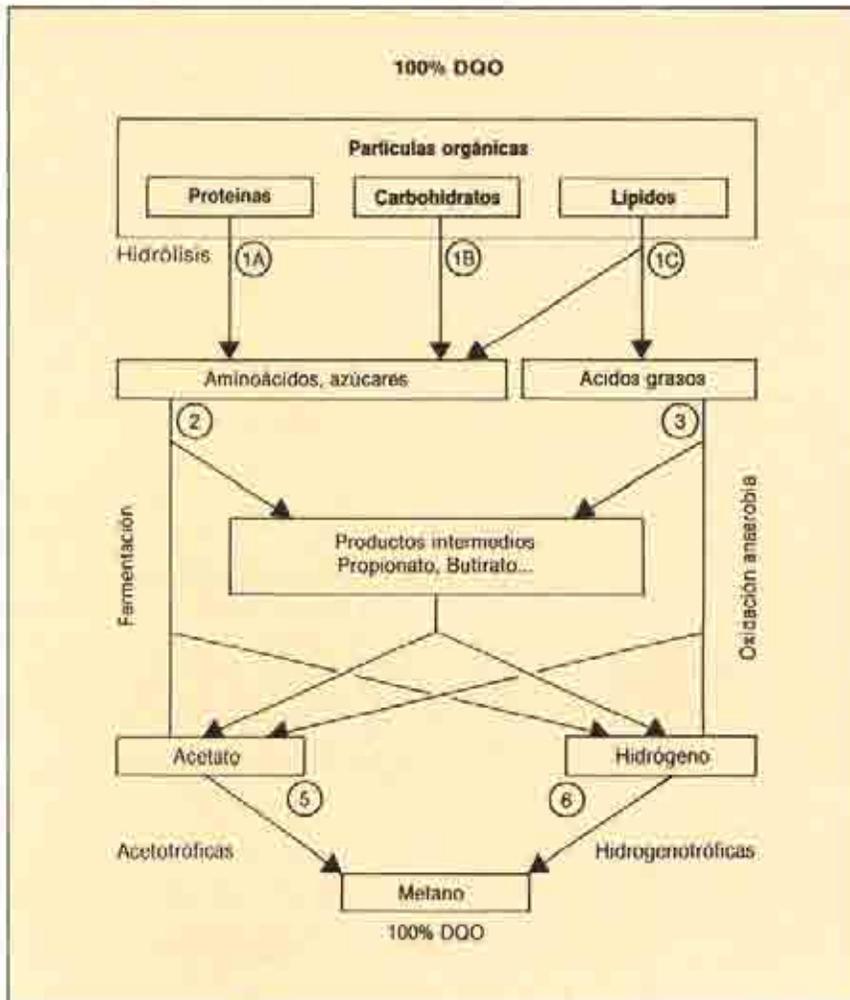
- Eliminación de depósitos de material inerte en los fangos.
- Disminución de las limitaciones de tipo difusional.
- Aplicación de procesos en varias etapas.

La mayor parte de las aguas residuales contienen sólidos inertes no degradables, cuya acumulación en el reactor hace descender la concentración de biomasa activa. Este problema se puede resolver utilizando una etapa previa de sedimentación o mediante la operación con

Retención microorganismos	TABLA 2	Tipo de reactor
Separación externa	→	Contacto anaerobio
Sedimentación interna	→	Lecho suspendido (UASB)
	→	Filtro anaerobio
Inmovilización	→	Película fija
	→	Lecho fluidizado

	Convencional	Alternativo	
	Todo Aerobio	Anaerobio	Aerobio
V (m ³)	4800	800	400
THR (h)	48	8	4
Carga orgánica (kg DBO ₅ /m ³ , d)	2	12	1,2
Energía (kWh/d) × 10			
Consumida	20	0,5	1
Generada	0	40	0
Fangos Generados (kg/d)	4000	300	200
Problemas Operación	Bulking Rearranques Estabilización fangos	Arranque	

FIGURA 1. Esquema del proceso biológico de digestión anaerobia.



velocidad superficial que facilite el arrastre de los sólidos.

La actividad de los microorganismos puede estar limitada por la difusión del sustrato. El proceso de difusión externo se incrementa mediante una adecuada agitación que facilite el contacto bacterias-sustrato. La difusión interna, a través de la capa de microorganismos que forman flóculos o película adherida, se facilita utilizando espesores de biocapa inferiores a 1 mm.

El mecanismo del proceso anaerobio consta de varias fases o etapas en serie, como se indica en la figura 1.

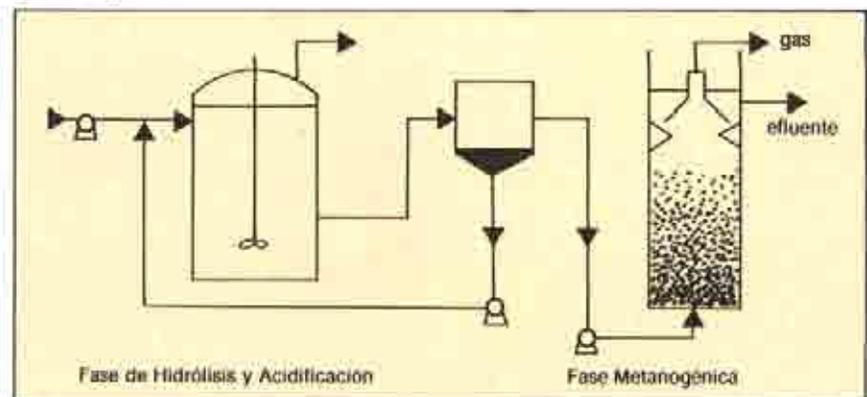
Las condiciones óptimas de operación de cada fase son diferentes, por lo que, operando en reactores separados, puede lograrse una mejor marcha del proceso global. En la práctica se utiliza un reactor de hidrólisis-acidificación, cuyo efluente sirva de alimentación al verdadero reactor anaerobio, en el que se realiza la degradación final. Todas las tecnologías permiten utilizar procesos en doble o triple etapa, del tipo de las esquematizadas en la figura 2.

Reactor de contacto anaerobio

Fue el primer reactor con retención de biomasa que se diseñó y comercializó sistemáticamente (Schroeter, 1955).

Es un reactor de tanque agitado en el que el arrastre de la biomasa activa fuera del reactor se controla por un separador y recirculación de fangos (figura 3).

FIGURA 2. Reactor de doble etapa con separación de fases acidogénica y metanogénica.



La mezcla puede realizarse mediante agitación mecánica o por recirculación de gas. Mezclar por recirculación del efluente es desfavorable, ya que dificulta la separación lodo-efluente, ya de por sí problemática. La agitación es necesaria para obtener buen contacto entre la biomasa y el sustrato, para prevenir cortocircuito en el interior del digestor y para reducir la aparición de regiones con espacios muertos.

Para facilitar la separación de los lodos del efluente se han utilizado varios métodos: decantación, decantación-floculación química, desgasificación por vacío, flotación, centrifugación, procesos de membrana, etc.

Este proceso es especialmente indicado para el tratamiento de efluentes con cantidades apreciables de sólidos, lentamente digeribles, que sedimenten con facilidad o se adhieran fácilmente a sólidos sedimentables. Estos sólidos permanecen en el reactor durante períodos superiores al tiempo hidráulico de residencia, por lo que son más probablemente degradables.

Se ha encontrado que la velocidad superficial en el sedimentador no debe ser mayor de aproximadamente 1 m/h para permitir suficiente decantabilidad del lodo floculado.

El contacto anaerobio requiere una puesta en marcha complicada y continua vigilancia.

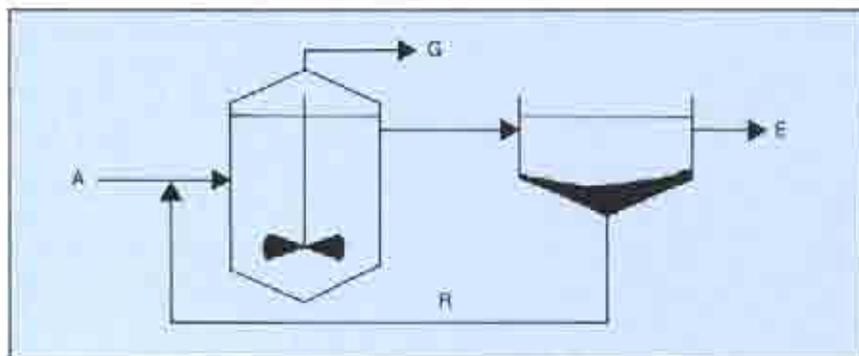
Los parámetros típicos de operación de este proceso son:

- Velocidad carga orgánica (kg DQO/m³ · d): 1-6.
- Tiempo hidráulico de residencia (d): 5-1.
- Concentración de lodos (kg SSV/m³): 5-10.
- Tiempo de arranque (d): 20-60.

Reactor de lecho suspendido (UASB)

Esta tecnología se ha desarrollado fundamentalmente en Holanda a par-

FIGURA 3. Reactor de contacto anaerobio.

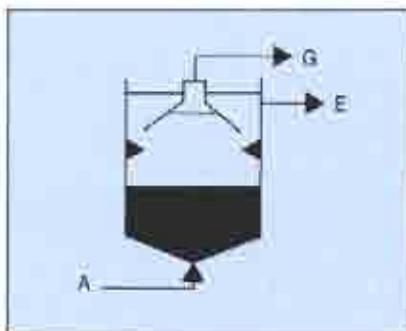


ir de 1975 y es ampliamente utilizada en Europa.

Su fundamento es la obtención de flóculos bacterianos cuyas buenas características de sedimentación impidan su arrastre fuera del reactor. La etapa de arranque es crítica en la consecución de flóculos adecuados. En reactores de tamaño industrial aparecen dos zonas. En la zona inferior se forman auténticos gránulos, alcanzándose concentraciones de sólidos totales de hasta 150 g/l, con más de un 80% de materia volátil y con un SVI de hasta 10 cm³/g. En la zona superior, la granulación no es tan evidente, formándose una capa de fangos en suspensión, de concentración inferior y con un SVI de hasta 30 cm³/g, (figura 4).

La segunda característica específica del UASB corresponde al sistema de recogida de gas o separador gas-líquido-sólido. Para impedir la fuga de flóculos de pequeño tamaño que ascienden adheridos a burbujas de gas, el sistema de sedimentación-desgasificación utilizado corresponde al

FIGURA 4. Reactor de lecho suspendido UASB.



esquema de la figura. Este ingenioso separador gas-sólido se comporta en realidad como un sedimentador interno y permite que el reactor opere abierto a la atmósfera.

El sistema de distribución del influente es otra de las claves de operación y en reactores de gran volumen puede ser limitante.

Es conveniente que el influente no tenga sólidos no degradables. Para los sólidos degradables el propio le-

cho retiene a los sólidos y se posibilita su degradación, mientras que la acumulación de sólidos no degradables puede perturbar la estabilidad.

Los parámetros de operación más característicos son:

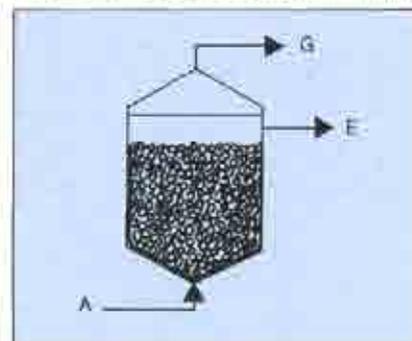
- Velocidad de carga orgánica (kg DQO/m³ · d): 5-30.
- Tiempo hidráulico de residencia (d): 2-0,2.
- Concentración de lodos (g SV/1): 10-40.
- Tiempo de arranque (d): 30-90.
- Carga orgánica influente (mg DQO/1): 300-80.000.

Filtro anaerobio

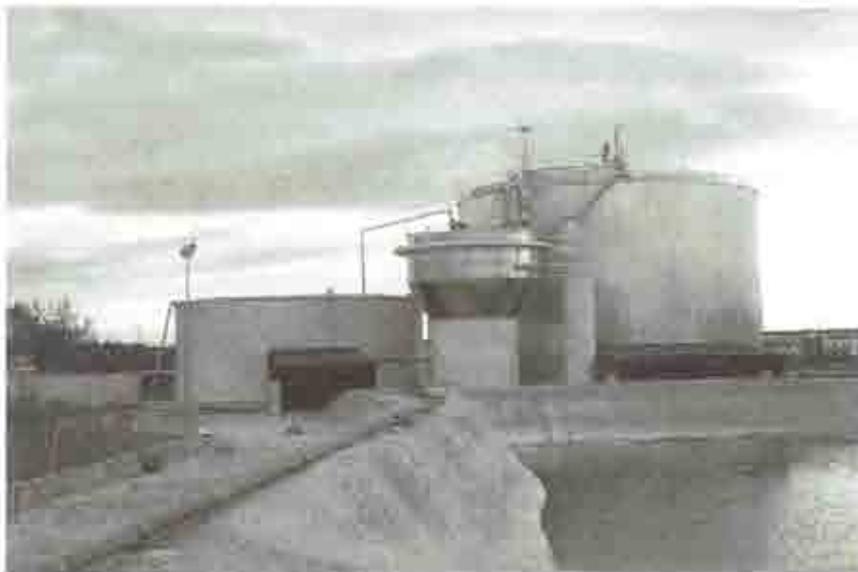
Consiste en un reactor de lecho fijo desarrollado por Young y McCarty (1967), directamente relacionado con los filtros biológicos (figura 5).

La retención de biomasa se consigue utilizando un material de relleno sobre el que se adhieren los microorganismos. Como relleno se han utilizado numerosos materiales: cantos rodados, caliza, granito, ladrillo rojo.

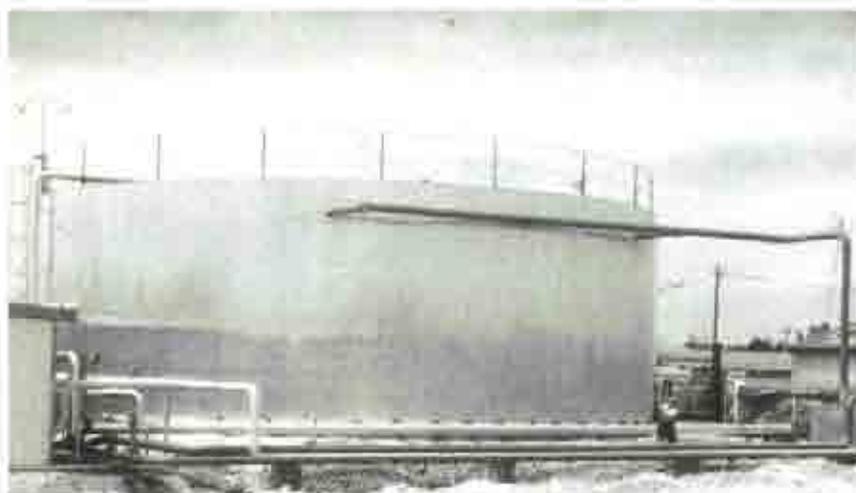
FIGURA 5. Reactor de filtro anaerobio.



La tecnología anaerobia se presenta como una solución alternativa frente a los procesos aerobios convencionales, o como una etapa de un proceso que combine adecuadamente procesos anaerobios y aerobios.



Reactor industrial de contacto anaerobio para tratamiento del agua residual de la Azucarera EBRO (Venta de Baños).



Reactor industrial UASB para tratamiento de agua residual de la Azucarera ACOR (Valladolid).

conchas de mejillón y toda una serie de anillos plásticos, que proporcionan multitud de canalillos y gran área superficial. La mayor parte de la biomasa activa se encuentra en suspensión entre los espacios vacíos del soporte y una pequeña cantidad adherida a la superficie del mismo. El flujo del líquido puede ser ascendente o descendente.

En este proceso, el propio relleno actúa como separador de gas, proporcionando zonas de reposo para la sedimentación de los fangos que se encuentran en suspensión. Aunque el reactor es en gran medida un reactor de fangos suspendidos, el sistema de distribución de líquido en la parte inferior del reactor es crítica para la obtención de un comportamiento óptimo.

El filtro anaerobio es aconsejable para aguas residuales con carga orgánica moderada soluble o que se degrade fácilmente en componentes solubles. También en el caso de aguas con elevada carga orgánica soluble, que puede ser diluida con recirculación de efluente.

En el funcionamiento del reactor interfieren los sólidos suspendidos, difícilmente digeribles, que sedimentan rápidamente y que se acumulan en los espacios intersticiales. Esta acumulación, la dispersión hidráulica, la acción de mezcla de las burbujas de gas ascendente y otros factores físicos son los causantes de cortocircuitos y de la desviación del flujo ideal.

Las características operacionales para este reactor son:

- Velocidad de carga orgánica (kg DQO/m³ · d): 1-10.
- Tiempo hidráulico de residencia (d): 3-0,75.

- Concentración de lodos (g SV/1): 10.
- Tiempo de arranque (d): 30-60.
- Carga orgánica del influente (mg DQO/l): 200-60.000.

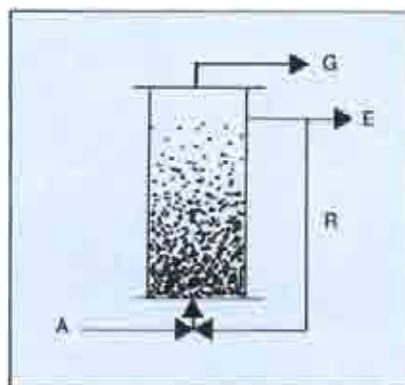
Reactor de lecho fluidizado

Este proceso también se desarrolló durante los años setenta, conservando la biomasa activa en forma de lecho formado por agregados fácilmente sedimentables. Los agregados se obtienen por adhesión de la biomasa sobre pequeñas partículas inertes, como arena, alúmina, plástico u otros tipos. Para evitar problemas de oclusiones, el sistema debe funcionar con flujo ascendente.

Un diagrama de un reactor de lecho fluidizado está representado en la figura 6.

Las partículas se mantienen en suspensión, suministrando elevada velocidad superficial al fluido ascendente. Esta velocidad de ascenso determina el grado de expansión del lecho, que oscila entre un 10 y un 50%.

FIGURA 6. Reactor de lecho fluidizado.



En la actualidad, se están desarrollando numerosas variantes de estos sistemas, en especial, utilizando reactores mixtos —reactor UASB cuya parte superior es un filtro—, o acoplado al reactor sistemas de separación de la biomasa más sofisticados, como ultrafiltración.

Las partículas empleadas en el reactor pueden ser muy pequeñas (0, 2-1 mm), por lo que se obtienen áreas específicas muy altas (2.000-5.000 m²/m³). Como consecuencia de ello, el espesor de la capa activa de biomasa es pequeño, aproximadamente 1 mm, con lo que se evita la limitación del proceso de difusión.

Eligiendo el diámetro de partícula adecuado y la densidad de la misma se consiguen elevadas velocidades de sedimentación de las partículas que constituyen el lecho (50 m/h). Esto permite mantener una suspensión concentrada de biomasa que cubre las partículas, aunque la velocidad superficial del líquido sea muy alta. Los residuos sólidos que lleva el agua residual a tratar son arras-

Todas las técnicas actualmente empleadas se basan en la propiedad de las bacterias de formar flóculos por unión con otras bacterias o de adherirse sobre superficies sólidas. En este sentido, las técnicas de retención de los microorganismos en el reactor, son:

- Separación externa y recirculación
- Sedimentación interna
- Inmovilización sobre superficies sólidas.

trados a través del reactor y no se acumulan en el lecho.

El comportamiento del reactor de lecho expandido depende en gran medida de la buena distribución de flujo a la entrada, sobre todo en reactores de gran diámetro.

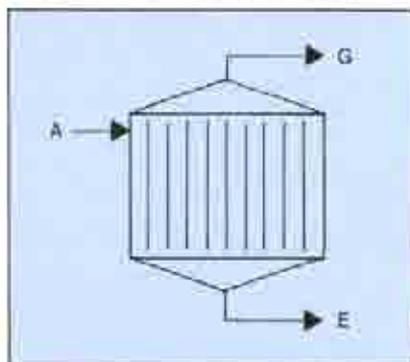
El tipo de agua residual susceptible de ser tratada por este proceso deberá tener materia orgánica disuelta o poseer sólidos suspendidos fácilmente degradables. Para conseguir las elevadas velocidades superficiales necesarias es preciso operar con grandes volúmenes de recirculación, por lo que la concentración del agua residual a tratar tiene relativamente poca importancia.

La principal limitación del proceso radica en la necesidad de mantener un flujo ascensional elevado y uniforme, que implica un consumo de energía mayor, por lo que el rendimiento energético es menor que en otros reactores.

Para este reactor, los parámetros de operación encontrados han sido los siguientes:

- Velocidad carga orgánica (kg DQO/m³ · d): 10-40.
- Tiempo hidráulico de residencia: < 10 h.
- Concentración de lodos (kg SSV/m³): 10-40.
- Tiempo de arranque: 2-3 meses.

FIGURA 7. Reactor de película fija.



Reactor de película fija

Este reactor ha sido desarrollado en Canadá, a partir de 1975, y es en realidad un filtro anaerobio con el relleno orientado con el fin de impedir la colmatación. Las bacterias se adhieren y crecen sobre tubos de sección circular.

Aunque inicialmente se utilizaron flujos ascendentes y descendentes, en la práctica el flujo descendente ofrece mejores características de operación.

La carga orgánica admitida y el espesor de la película dependen de las características de la superficie del tubo y de la composición del agua a tratar. El espesor efectivo de la película está limitado por fenómenos de

Las características de las aguas residuales del sector agroalimentario, han facilitado la implantación de procesos anaerobios, consiguiéndose excelentes resultados en áreas industriales tan diversas como: azucarera, alcohólica, conservera vegetal y animal, lechera y derivados, cervecera, ácido cítrico, pectina, zumos y derivados.



Reactores industriales de lecho fluidizado para tratamiento de agua residual de Cervezas El Águila.

difusión. El área específica se limita a menos de 100 m²/m³, ya que los canales deben tener un diámetro mínimo para impedir que se llenen completamente con la película.

La etapa de arranque del reactor depende del tipo de influente y del material utilizado como soporte. Los materiales cerámicos son los que mejores características de adherencia presentan. Este reactor no es adecuado para el tratamiento de efluentes diluidos (< 2.000 mg DQO/l).

Una propiedad importante de este tipo de reactor es su versatilidad para cambiar el efluente a tratar con poca pérdida relativa de capacidad. Esto es interesante para instalaciones donde el carácter del agua residual cambia rápidamente, según la estación o el programa de producción.

TABLA 3
Comparación reactores anaerobios

	R1	R2	R3	R4	R5
Facilidad de arranque	B	N	N	N	N
Facilidad de re arranque	B	B	B	B	B
Facilidad de control	B	B	B	B	B
Estabilidad frente a:					
Temperatura	N	B	B	B	B
Tóxicos	M	N	N	N	N
Sobrecarga orgánica	N	B	B	B	B
Sobrecarga hidráulica	M	B	N	B	B
Sólidos suspendidos	B	M	N	N	B
Película de biomasa	-	0	0	+	+
Biomasa no adherida	+	0	0	-	-
Necesidad de recirculación	+	-	-	+	0
Necesidad de mezcla	+	-	-	-	-
Necesidad equipo separación	+	-	+	-	-
Formación de espumas	0	-	0	+	0
Problemas de burbujas de gas	-	0	0	0	-

+ Si	R1 = Contacto anaerobio
0 Parcialmente	R2 = Filtro anaerobio
- No	R3 = UASB
B Bueno	R4 = Lecho expandido
N Normal	R5 = Película fija
M Malo	

Los parámetros de operación más significativos:

- Velocidad de carga orgánica (kg DQO/m³ · d): 5-15.
- Tiempo hidráulico de residencia (d): 3-1.
- Concentración de lodos: 10-20.
- Tiempo de arranque (d): 60-90.

En la actualidad se están desarrollando numerosas variantes de estos sistemas, en especial utilizando reactores mixtos-reactor UASB, cuya parte superior es un filtro, o acoplado al reactor sistemas de separación de la biomasa más sofisticados, como ultrafiltración.

COMPARACION DE REACTORES ANAEROBIOS

En la descripción que antecede se han presentado las características que diferencian a los distintos tipos de reactor, así como su rango de aplicación.

En la tabla 3 se realiza una comparación de los cinco modelos de reactores aquí discutidos. La base de esta tabla son los trabajos de Henze y Harremoës (1982) y nuestra propia experiencia.

El consumo de energía puede resultar un factor clave a la hora de seleccionar el tipo de reactor, dado que es normal que varias técnicas puedan ser aplicadas al tratamiento

de un determinado efluente. La bibliografía en este sentido es muy escasa, y como valores orientativos pueden darse:

	Wh/m ³
Contacto anaerobio	30 - 100
Filtro anaerobio	30 - 80
UASB	20 - 60
Lecho fluidizado	20 - 1.000
Película fija	20 - 100

APLICACIONES

El tratamiento anaerobio de aguas residuales debe considerarse como una etapa dentro del esquema global de depuración y en la práctica debe ir acompañado de otras operaciones físicas, químicas y biológicas.

A continuación se presentan algunos datos característicos de aplicaciones de los procesos anaerobios.

EFLUENTES INDUSTRIALES

— Sector ganadero

Las «aguas residuales» de granjas de ganado porcino y vacuno representan uno de los más graves problemas de impacto ambiental en amplias zonas de España, agravado por la tendencia a la concentración de ganado en explotaciones industriales.

El tratamiento anaerobio puede permitir:

- Eliminar el 60-70% de la carga contaminante.
- Facilitar la posterior aplicación del efluente, aprovechando sus nutrientes; Datos estimados para España N = 245.000 t/año; P = 100.000 t/año; K = 150.000 t/año.
- Obtención de biogas aprovechable en la explotación ganadera (600.000 TEP/año).

— Industria agroalimentaria

Las características de las aguas residuales del sector agroalimentario, han facilitado la implantación de procesos anaerobios, consiguiéndose excelentes resultados en áreas industriales tan diversos como:

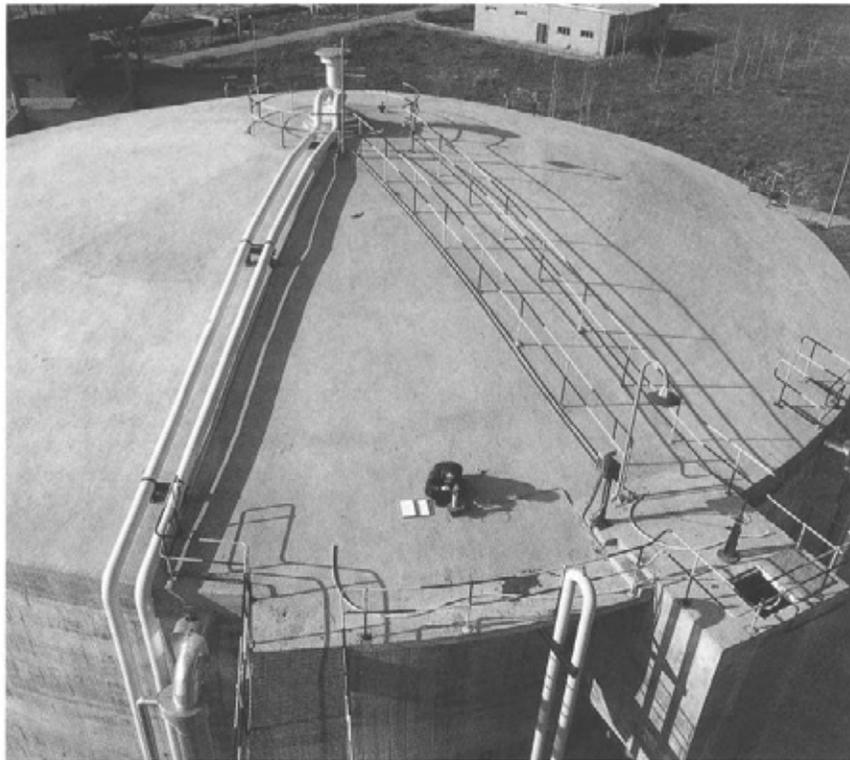
- Azucarera.
- Alcohólica.
- Conservera vegetal y animal.
- Lechera y derivados.
- Cervecería.
- Acido cítrico.
- Pectina.
- Zumos y derivados.

Existen numerosas instalaciones industriales, donde están representadas todas las tecnologías expuestas en el apartado anterior. En la práctica, el máximo de instalaciones corresponde a reactores tipo contacto anaerobio, UASB y filtro anaerobio.

— Industria no alimentaria

La diversidad de compuestos orgánicos presentes, la posible carencia de nutrientes y la existencia de sustancias no biodegradables y tóxicas, son características de este tipo de aguas residuales. Esta situación obliga a realizar estudios de viabilidad muy complejos, previos al esta-





Estación depuradora de aguas.

blecimiento de una estrategia para el tratamiento de aguas residuales.

Un estudio de viabilidad puede comprender las siguientes etapas:

- Análisis del proceso industrial
Origen y caracterización de las diferentes corrientes de aguas residuales.

Medidas internas: cierre de circuitos, recirculaciones, cambios en proceso.

- Caracterización analítica
Materia orgánica DBO₅/DQO.
Relación C/N/P.
Posibles inhibidores.
- Test anaerobio discontinuo.
- Test anaerobio continuo.

Sin lugar a dudas la etapa previa de análisis del proceso industrial es la más importante, dado que configura la cantidad y calidad de las aguas residuales a tratar.

La realización de un test anaerobio continuo, durante un tiempo mínimo de 6 meses, recomendable un año, resulta indispensable para tener un conocimiento real del comportamiento del sistema, que permita establecer la cinética del proceso y proponer valores adecuados de la velocidad de carga y del tiempo hidráulico de residencia. El test continuo permite caracterizar deficiencias en nutrientes y posibles efectos tóxicos, que en los test discontinuos quedan disimulados.

AGUAS URBANAS

La depuradora urbana convencional, formada por etapas de decantación primaria, reactor biológico anaerobio y estabilización de fangos, es conceptualmente poco adecuada.

De acuerdo con el metabolismo de los microorganismos y la extensión de las reacciones energéticas y de síntesis celular que tienen lugar, 1/3 de la materia orgánica se degrada a productos finales, mientras que los 2/3 restantes se utilizan para sintetizar nuevos microorganismos (fangos). La necesidad de estabilizar estos fangos impone la utilización de una serie de operaciones: separación, deshidratación, acondicionamiento, digestión, filtración o centrifugación, que hacen que en una instalación depuradora la línea de fangos sea más compleja que la del agua. Curiosamente, la digestión anaerobia es la vía de estabilización de fangos aerobios más utilizada. Esta conversión prioritaria de la contaminación orgánica a materia sólida, que es necesario separar y eliminar, se ve agravada por el elevado consumo energético de la aeración.

En los últimos años empiezan a desarrollarse dos tipos de estrategia:

- Tratamiento directo anaerobio de aguas urbanas.
- Tratamiento integrado con etapas anaerobias, aerobias y anóxicas.

El tratamiento directo por vía anaerobia se ha realizado básicamente a escala piloto, con rendimientos de depuración que fluctúan entre 60-80% en eliminación de DQO y velocidades de carga orgánica del orden de 4 kg DQO/m³ · d.

El tratamiento con secuencia de diferentes etapas anaerobias y aerobias permite la eliminación de la contaminación por C, N y P y aparece como la vía más razonable para el tratamiento integral de las aguas urbanas.

BIBLIOGRAFIA

- Carozzi, A.: «Reactores de lecho fijo», IV Seminario D.A.A.R., Valladolid, 1988.
- Fernández-Polanco, F., y Díez, V.: «Reactor anaerobio de lecho fluidizado. Diseño y operación», IV Seminario D.A.A.R., Valladolid, 1988.
- Fiestas, J. A.: «Bases de los procesos anaerobios. Aspectos microbiológicos», III Seminario D.A.A.R., Valladolid, 1986.
- Gujer, W., y Zehnder, A.J.B.: «Conversión processes in anaerobic digestion», *Water Sci. Technol.*, 15.
- Henze, M., y Harremoës, P.: «Review paper: Anaerobic treatment of wastewater in fixed-film reactors», IAWPR Specialised Seminar, Copenhagen, 1982.
- Hulshoff Pol L., y Lettinga, G.: «Diseño de reactores UASB», IV Seminario D.A.A.R., Valladolid, 1988.
- Jewell, W. J.: «Anaerobic sewage treatment», *Environ. Sci. and Technol.*, 21 (1), 14-21, 1987.
- Lettinga, G., et al.: «Use of the upflow sludge blanket (UASB) reactor concept for biological wastewater treatment especially for anaerobic treatment», *Biotech. and Bioeng.*, 22, 699, 1980.
- Nahle, C.: «El sistema de contacto de fangos en el tratamiento anaerobio de aguas residuales», III Seminario D.A.A.R., Valladolid, 1986.
- Paris, J.: «Aspectos económicos de la aplicación de procesos anaerobios a la depuración de aguas residuales», III Seminario D.A.A.R., Valladolid, 1986.
- Racault, Y.: «Treatment of distillery wastewater using an anaerobic downflow stationary fixed-film reactor», *Technical advances in biofilm reactors*, Nicee, 1989.
- Van den Berg, L., et al.: «Comparison of advanced anaerobic reactors», III Int. Conf. Anaerobic Digestion, Boston, 1983.
- Vieira, S. M. M., y Souza, M. E.: «Development of technology for the use of the UASB reactor in domestic sewage treatment», *Water Sci. Tech.*, 18, 109-121, 1986.
- Vochten, P.; Schowanek, S.; Schowanek, W., y Verstraete, W.: «Aerobic versus anaerobic wastewater treatment», *Anaerobic Digestion, 1988.* (Hall, E., y Hobson, P., Editores), Pergamon Press, 1988.