

LA DIGESTIÓ ANAERÒBIA COM UN PROCÉS DE DESCONTAMINACIÓ I REVALORITZACIÓ ENERGÈTICA

M. Teresa Vicent i Huguet¹, Josep M. París i Molina²

¹ Departament de Química. Col·legi Universitari de Girona (Universitat Autònoma de Barcelona). 17071-Girona.

² Departament de Química Tècnica. Facultat de Ciències. Universitat Autònoma de Barcelona. Bellaterra. Barcelona.

RESUM

Es presenten els avantatges de la digestió anaeròbia com un mètode de depuració i, alhora, de producció d'energia adequat per al tractament de gran nombre d'aigües residuals. Es comparen els diferents tipus de reactors anaerobis, s'indiquen les seves característiques generals i es dona criteris per tal d'escollir el més adient per al tractament d'un determinat residu.

RESUMEN

Se presentan las ventajas de la digestión anaerobia como método de depuración y producción de energía adecuado para el tratamiento de gran número de aguas residuales. Se comparan diferentes tipos de reactores, se indican sus características generales y se dan criterios para escoger el más idóneo para el tratamiento de un determinado residuo.

ABSTRACT

Anaerobic Digestion is pointed out to offer several advantages for energy reclamation and wastewater treatment. Different anaerobic processes are compared, their general characteristics are presented and criteria are given for the selection and design of a suitable anaerobic digester.

Paraules clau: digestió anaeròbia; contaminació; revalorització energètica; depuració; aigües residuals, tecnologia anaeròbia.

INTRODUCCIÓ

Els processos que utilitzen els residus orgànics contaminants poden ésser agrupats en:

- a) processos de conversió
- b) processos de depuració.

Quant als processos de conversió, les tecnologies bioenergètiques o vies biològiques de producció d'energia, i els materials susceptibles de ser aprofitats energèticament representen, cada cop més, una excel·lent alternativa energètica als combustibles fòssils, no renovables, que són majoritàriament utilitzats a l'actualitat.

Això és especialment important al camp de les instal·lacions agro-industrials, ja que poden cobrir la major part de les seves necessitats energètiques a partir dels seus propis residus per tal de complementar o reemplaçar als combustibles fòssils.

Els tres mètodes més emprats per a convertir la matèria orgànica en energia són: els termoquímics, els processos químics per via seca i els que transcorren per via aquosa. La majoria poden ser implementats només a escala industrial perquè requereixen equips especialitzats i, de vegades, treballar a altes pressions i temperatures; tanmateix, la digestió anaeròbia és un procés aquós a baixa temperatura que pot portar-se a terme tant a petita escala com a escala industrial.

Quant als processos de depuració, es poden classificar, en funció de la necessitat o no d'aportació d'oxigen al medi, en:

- tractament aerobi, que consisteix a transformar la càrrega contaminant principalment en material sòlid biològic (llots) i diòxid de carboni, i necessita aportació d'oxigen al medi, i
- tractament anaerobi, en el qual la major part de la càrrega orgànica contaminant és transformada en metà i diòxid de carboni, i tan sols una petita part en llots biològics.

A la taula 1 es resumeixen els avantatges i desavantatges de la digestió anaeròbia respecte a l'aeròbia.¹

Taula 1.

| Avantatges |
|---|
| — baixa producció de llots estables |
| — menys necessitat de nodridors |
| — tractament de residus carregats |
| — tractament de suspensions concentrades |
| — menys necessitats energètiques (no aeració) |
| — conservació N amoniacal |
| — disminució de males olors i important destrucció de patògens |
| — producció de metà |
| — possibilitat d'aplicar altes càrreges orgàniques |
| Desavantatges |
| — períodes inicials llargs |
| — posada en marxa delicada |
| — sensibilitat elevada a compostos tòxics (sobretot als metanògens) |
| — despesa energètica per a escalfar el digestor |
| — poden ser necessaris tractaments complementaris |
| — escassa experiència en digestors d'alta velocitat |

LA DIGESTIÓ ANAERÒBIA

La digestió anaeròbia és un tractament biològic pel qual la matèria orgànica és descomposta per l'activitat de microorganismes en absència d'oxigen; s'hi produeix un gas amb un alt contingut energètic (biogàs) i un llot residual que conserva tot el valor fertilitzant del material original (fig. 1).

El biogàs és una mescla de diferents gasos, entre els quals destaquen el metà (60-70 %) i el CO_2 (40-30 %), i és una font d'energia que pot utilitzar-se com el gas natural. Pot cremar-se directament per a escalfar, cuinar i obtenir llum per a necessitats domèstiques o agrícoles. A les indústries, la principal utilització és el subministrament d'electricitat. Les indústries que produeixen grans quantitats de residus orgànics poden utilitzar-los com a matèria primera per a substituir en part les fonts convencionals d'energia pel seu propi biogàs.

El llot biològic obtingut és una mescla de substàncies no digerides i microorganismes vius o morts. La composició exacta depèn del disseny i operació del digestor. És un valuós fertilitzant perquè els nodridors presents en la matèria primera no s'han degradat i el nitrogen s'ha fet més aprofitable, ja que ha passat de nitrogen proteic a nitrogen amoniacal.

Així, doncs, la digestió anaeròbia en el tractament de residus permet reduir el volum de substàncies orgàniques contaminants i produir energia. El fet que un d'aquests objectius predomini sobre l'altre en cada situació específica, depèn de les necessitats de descontaminació del medi i de la

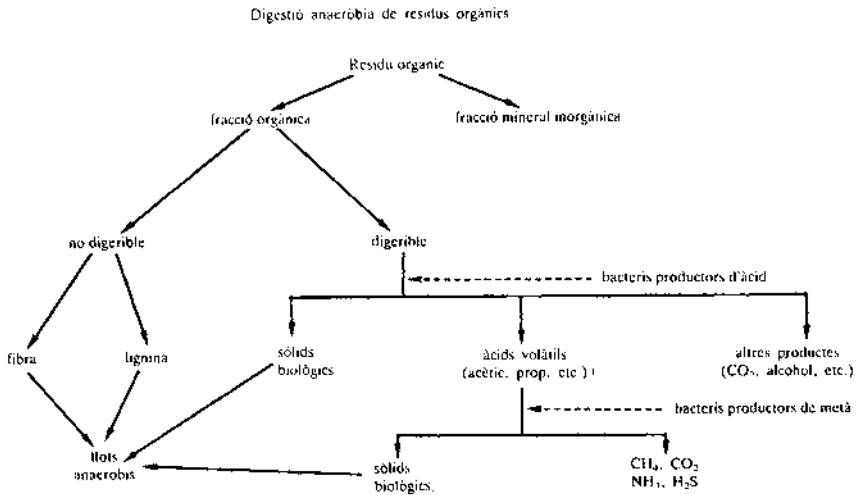


Figura 1

naturalesa i origen del residu. És evident que s'ha d'intentar fer confluïr tots dos avantatges.

La digestió anaeròbia és adequada per a tractar una gran quantitat de substrats com ara:

- a) Residus agrícoles
 - Residus animals: excrements i fems.
 - Residus de collites: residus de plantes abandonades després de la collita, incloent-hi palla i branques.
- b) Collites energètiques: creixement específic per la seva digestió anaeròbia o creixement natural.
 - Plantacions energètiques: cultius d'alt contingut energètic.
 - «Collites intercalades»: creixement en el període entre collites tradicionals (després de l'estiu i de la tardor quan la terra estaria sense sembrar).
 - Vegetació natural: collites que no són econòmiques pels baixos rendiments que s'obtenen.
- c) Residus industrials.
 - Efluents d'indústries agro-alimentàries.
 - Residus d'altres indústries.
- d) Aigües residuals urbanes.
- e) Escombraries: tractament d'escombraries domèstiques amb un alt contingut orgànic i dels seus llixiviats.

Els microorganismes encarregats de realitzar la digestió anaeròbia no són d'un sol tipus,² sinó que són un conjunt de poblacions bacterianes que actuen a diferent nivell tròfic. Les tres etapes principals del procés es mostren a la figura 2. A l'etapa hidrolítica-acidògena o fermentativa els

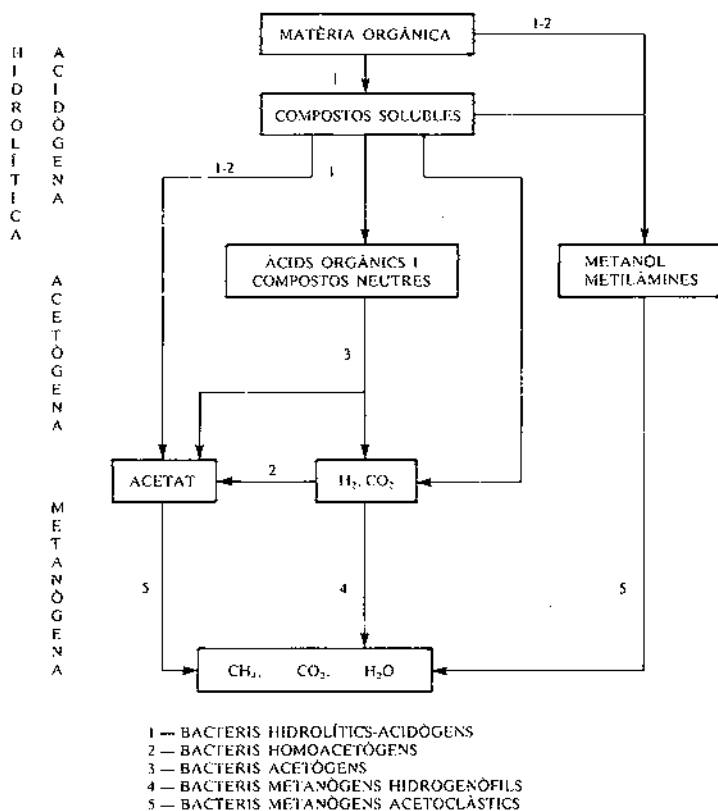


Figura 2

compostos orgànics complexos es descomponen en compostos solubles i, posteriorment, en àcids orgànics i compostos neutres per l'acció dels bacteris hidrolítics i acidògens. A la segona etapa o acetogènesi, es realitza la seva transformació a acetat i una mescla H_2 i CO_2 . El pas a acetat el realitzen els bacteris homoacetògens directament a partir de la mescla H_2/CO_2 . D'altra banda, els bacteris acetògens el produeixen a partir de diferents àcids i compostos neutres. Finalment, a la darrera etapa, anomenada metanògena, s'obté CH_4 , CO_2 i H_2O a partir d'acetat per l'acció dels bacteris metanògens acetoclastes o a partir de la mescla H_2/CO_2 per l'acció dels bacteris metanògens hidrogenòfils.

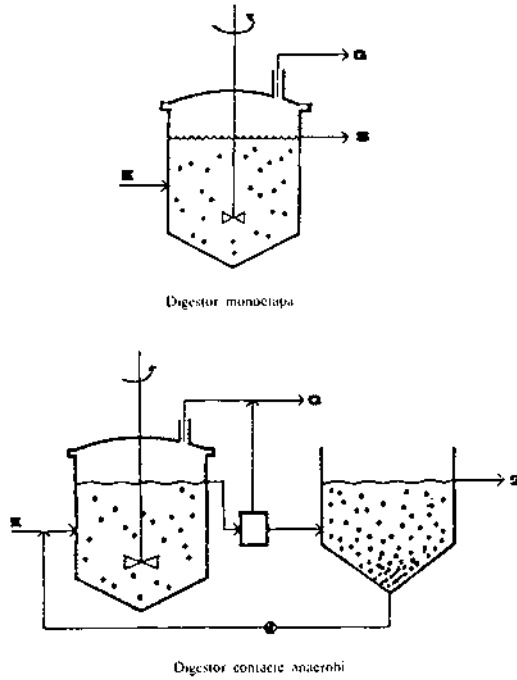


Figura 3

REACTORS DE TIPUS CONVENCIONAL O DE PRIMERA GENERACIÓ

La recerca per a l'aplicació comercial de la digestió anaeròbia pot considerar-se que comença el 1814, quan Davy, en un estudi del valor fertilitzant del fem de vaca, recull biogàs en un dipòsit al buit.³ La primera utilització de la digestió anaeròbia com un sistema de producció de combustible és atribuïda a D. Cameron, que utilitza el gas d'un dipòsit «acuradament dissenyat» per a il·luminar els carrers d'Exeter (Anglaterra, 1895). Posteriorment, la digestió anaeròbia es va aplicar principalment al tractament de residus urbans, però el principal objectiu no era l'obtenció d'un gas combustible, sinó l'estabilització dels llots. Freqüentment, el metà produït no era utilitzat i era, simplement, cremat. La digestió anaeròbia també va ser utilitzada per a produir energia a partir de residus agrícoles durant i immediatament després de la Segona Guerra Mundial, a França, Algèria i Alemanya. Durant el període posterior a la Segona Guerra Mundial, l'interès en aquest procés disminueix perquè no pot competir amb l'energia fòssil, que resulta més barata.

Tanmateix, la crisi energètica del 1973 eleva els preus d'aquesta font convencional d'energia i fa renéixer l'interès per la digestió anaeròbia com un mètode, no tan sols de descontaminació, sinó de producció d'energia.

El primer reactor desenvolupat, també anomenat reactor convencional (fig. 3), consisteix essencialment en un reactor de tanc agitat sense recirculació de sòlids. A causa de la baixa velocitat específica de creixement dels bacteris metanògens, la digestió efectiva dels residus en un reactor convencional només pot obtenir-se a elevats temps de retenció. En la pràctica, es consideren imprescindibles temps de retenció hidràulics de vint dies o més per a aconseguir una estabilització eficient dels residus, la qual cosa comporta que els digestors convencionals siguin molt grans, i que augmenti molt el cost de les instal·lacions.

El concepte de recirculació biològica de sòlids porta a la introducció del procés de contacte-anaerobi (fig. 3), que permet temps de residència dels microorganismes en el digestor més elevats, una estabilització del residu més eficient i, significativament, majors volums de gas produït. El volum de digestor necessari és més petit i el procés és econòmicament més rendible. El desenvolupament del reactor de contacte anaerobi ha permès aplicar aquest tractament a gran varietat d'aigües residuals amb diferents continguts en sòlids i càrrega orgànica. L'eficient operació d'aquest procés depèn molt de la del decantador, la qual cosa pot augmentar el cost global. Sovint, són necessàries altes velocitats de recirculació de sòlids perquè el tractament resulti eficaç.⁴

REACTORS D'ALTA VELOCITAT O DE SEGONA GENERACIÓ

Una legislació més restrictiva respecte del control de la pol·lució del medi ambient, junt a una elevació del cost energètic dels sistemes aerobis, han estimulat en els últims anys l'interès per la digestió anaeròbia com a tecnologia útil per a la descontaminació i producció simultània d'energia. Aquest interès ha conduït al desenvolupament i disseny d'un altre tipus de digestors, adequats per al tractament d'aigües residuals d'alta i baixa càrrega orgànica. Aquests reactors,⁵ anomenats de segona generació (fig. 4), tenen en comú la retenció de la biomassa microbiana dintre del reactor per diversos mètodes, i eliminen els problemes d'operació associats al sistema de recirculació de sòlids del procés de contacte anaerobi. En contrast amb els dissenys anteriors, el bon funcionament d'aquest tipus de digestors està lligat a la facilitat dels bacteris, especialment els metanògens, per a enganxar-se a les superfícies sòlides. A l'UASB, o llit de flots, la flora microbiana s'enganxa entre si o a petites partícules de matèria en suspensió per a formar aglomerats o grànuls.⁶ Els grànuls són retinguts al reactor durant períodes molt llargs de temps per un eficient sistema de separació gas-sòlid-líquid.

La retenció i manteniment del creixement biològic sobre un material inert que s'ha introduït al digestor és la base teòrica del funcionament del filtre anaerobi, del reactor de llit en pel·lícula i del reactor de llit fluiditzat. En el filtre anaerobi o reactor de llit fixe, els bacteris s'enganxen al suport i són retinguts com a grànuls o floculs en els espais buits. Al segon cas, la

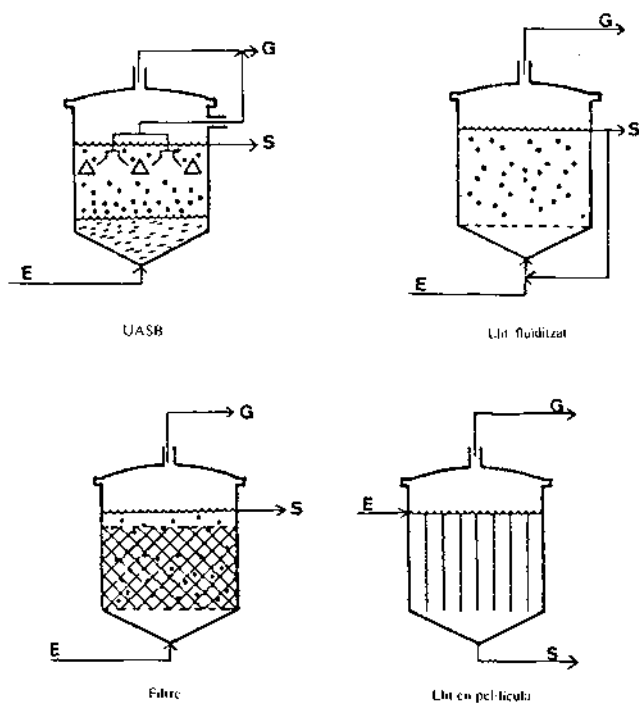


Figura 4

biomassa activa forma una pel·lícula sobre un suport inert ordenat, mentre que en el cas del llit fluiditzat, la pel·lícula bacteriana es forma sobre petites partícules de material inert, normalment sorra, que són fluiditzades per recirculació de l'efluent del digestor.^{7,8}

L'eficàcia d'aquests quatre tipus de digestors depèn molt de la quantitat de biomassa que és retinguda al digestor. A l'UASB, la retenció de la biomassa és fàcil pel seu sistema de separació de gas-sòlid-líquid i la quantitat de biomassa retinguda per unitat de volum de reactor és, generalment, major que la retinguda pels reactors de llit fix i llit fluiditzat. La retenció, no obstant, està limitada per la velocitat de decantació de les partícules i pel contingut de l'influent en matèria en suspensió. La quantitat de biomassa retinguda en el reactor de llit fix depèn de la relació àrea/volum i està limitada per l'àrea de la matriu suport. El reactor de llit fix té l'avantatge que la biomassa està fixada a suports fixos i no pot ser arrossegada a l'exterior per una sobrecàrrega hidràulica, com podria ocórrer als reactors amb biomassa en suspensió. El filtre anaerobi pot mantenir una quantitat de biomassa al reactor més elevada que el de pel·lícula fixada perquè els bacteris no tan sols es troben enganxats a la superfície, sinó que també estan en els espais intersticials de la matriu suport. Així, doncs, una sobrecàrrega hidràulica no es considera un

problema pel filtre, ja que no impedeix la retenció de la biomassa a l'interior del reactor. D'altra banda, el funcionament ascensional de l'UASB, filtre i llit fluiditzat pot presentar problemes de tapament en el tractament de residus amb alt contingut en matèria en suspensió.

Encara que és evident que aquests digestors difereixen respecte del disseny i paràmetres operacionals, el fet que tots ells retinguin la biomassa activa permet la reducció del temps de retenció hidràulic des de deu a vint dies, característic dels digestors convencionals, a períodes de l'ordre de pocs dies o, àdhuc, d'hores. Aquesta reducció del temps de retenció té com a conseqüència velocitats de producció de metà per volum de digester de dues a deu vegades més altes que les obtingudes pels reactors de la primera generació. La reducció del temps de retenció hidràulic també implica la reducció del cost inicial donat que la mida del reactor necessari és menor.

CRITERIS DE SELECCIÓ

A la taula 2 es presenta un resum d'algunes característiques d'aquests sistemes de reactors anaerobis.

Els reactors convencionals i de contacte són adequats per a tractar residus concentrats amb un alt contingut en sòlids, i els digestors de biomassa fixada i UASB per a tractar residus solubles, tant si són molt com poc carregats.

Taula 2. Comparació de digestors anaerobis.

| | sense recir- culació | amb recir- culació de sòlids | UASB | Filtre | llit fluiditzat |
|--|----------------------------|------------------------------------|------------|------------|--------------------|
| Facilitat de posada en marxa | dolenta | excel·lent | acceptable | molt bona | bona |
| Facilitat d'operació | acceptable | acceptable | bona | excel·lent | bona |
| Controlabilitat | dolenta | excel·lent | bona | bona | bona |
| Resistència a canvis en: | | | | | |
| — Temperatura | dolenta | bona | excel·lent | excel·lent | excel·lent |
| — Tòxics | dolenta | bona | molt bona | excel·lent | excel·lent |
| — Càrrega orgànica | dolenta | molt bona | excel·lent | excel·lent | excel·lent |
| — Sòlids en suspen- sió a l'aliment | molt bona | bona | acceptable | dolenta | acceptable |
| Capacitat per a pro- cessar llots | excel·lent | molt bona | dolenta | dolenta | dolenta |

Per a escollir amb tota seguretat el sistema més adequat, convé sempre realitzar prèviament estudis de laboratori que permetin identificar completament el residu a tractar, així com obtenir informació sobre la seva digestibilitat.

Amb caràcter indicatiu, útil només quan no es poden realitzar estudis de laboratori, es pot utilitzar la figura 5⁹ a fi d'escollir el sistema de digestió en base a les característiques físiques ($\text{kg sòlids totals} \cdot \text{m}^{-3}$) o químiques ($\text{kg} \cdot \text{DDO} \cdot \text{m}^{-3}$) de l'efluent a tractar o en base a la càrrega volúmica (kg DDO o $\text{sòlids totals} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{dia}^{-1}$) que es pretén aplicar.

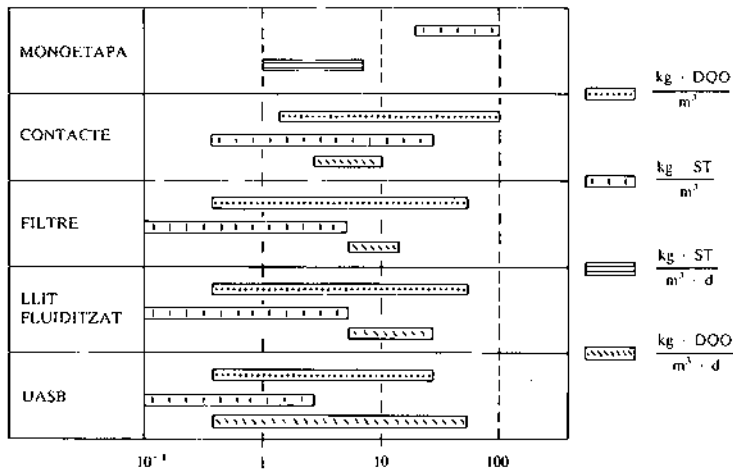


Figura 5

Bibliografia

1. MC CARTY, P.L. (1964). *Public works*. 95: 107.
2. ZEIKUS, J.G. (1980). *Anaerobic Digestion* Cap. 4, ed. Stafford, D.A. Science Publishers Ltd. London.
3. VAN VELSEN, A.F.M. (1980). *Anaerobic Digestion of Piggery Waste*. Published by Department of Water Pollution Control. Agricultural University. The Netherlands.
4. VAN DEN BERG, L. *et al.* (1980). *Proc. 35 rd. Ind. Waste Conf.* Purdue Univ.
5. COLLERAN, E. *et al.* (1982). *Process Biochem.* 12.
6. LETTINGA, G. *et al.* (1980). *Anaerobic Digestion* ed. Stafford, D.A. Science Publishers Ltd. London. p. 167.
7. VAN DEN BERG, L. *et al.* (1981). *Biotechnol. Lett.* 3: 165.
8. BINOT, R.S. *et al.* (1981). *Proc. 2nd. Int. Symp. on Anaer. Dig.* Travemünde.
9. ROZZI, A. (1981). *Proc. Int. Seminar on Anaer. Wastewater treat. and Energy Recovery*. Pittsburgh.