

PRIMERS RESULTATS DE L'EFICÀCIA DE DEPURACIÓ I DE PRODUCCIÓ DE BIOGÀS D'UN FILTRE ANAEROBI QUE TRACTA L'AIGUA RESIDUAL DE LA FABRICACIÓ DE MIDÓ DE PATATA

C. Cassú¹, M.D. Balaguer¹, T. Vicent¹ i J.M. París²

¹ Laboratori d'Enginyeria química. Unitat de Química. Col·legi Universitari de Girona (UAB). Hospital, 6.17001-Girona.

² Unitat d'Enginyeria química. Departament de Química (UAB). 08193-Bellaterra (Barcelona).

RESUM

Es presenta una breu descripció de l'engegada d'un reactor anaerobi de llit fix (filtre anaerobi). S'hi exposen els primers resultats obtinguts en la depuració i en la producció de biogàs per digestió anaeròbia d'una aigua residual provinent de la fabricació de midó de patata. Es caracteritza l'estat estacionari corresponent a una càrrega volumètrica de 3 kg DQO m⁻³ d⁻¹.

RESUMEN

Se presenta una breve descripción de la puesta en marcha de un reactor anaerobio de lecho fijo (filtro anaerobio) mostrando los primeros resultados obtenidos en la depuración y en la producción de biogás por digestión anaerobia de un agua residual procedente de la fabricación de almidón de patata. Se caracteriza el estado estacionario correspondiente a una carga volumétrica de 3 kg DQO m⁻³ d⁻¹.

ABSTRACT

This paper deals with the start-up of an anaerobic digester of fixed bed (anaerobic filter) showing the first results obtained in the treatment and biogas production by anaerobic digestion of a wastewater coming from a potato-starch processing plant. The steady state performance corresponding to a volumetric load of 3 kg COD m⁻³ d⁻¹ is characterized.

Key words: anaerobic digestion, anaerobic filter, wastewater potato-starch, biogas.

INTRODUCCIÓ

El filtre anaerobi (FA) (1) és un reactor dels anomenats de segona generació o d'alta velocitat, a l'interior del qual la biomassa és retinguda mitjançant la fixació dels bacteris sobre un suport inert que omple el digester de forma desordenada. Aquest desordre és una de les característiques fonamentals que el distingeixen de l'anomenat Reactor Anaerobi de pel·lícula fixada (RAPF), en què el reblliment s'ha col·locat de forma totalment organitzada.

El flux de líquid aliment pot ser ascendent o descendent. Predomina en els reactors d'aquest tipus el flux ascendent, amb sortida superior de l'efluent i del gas produït.

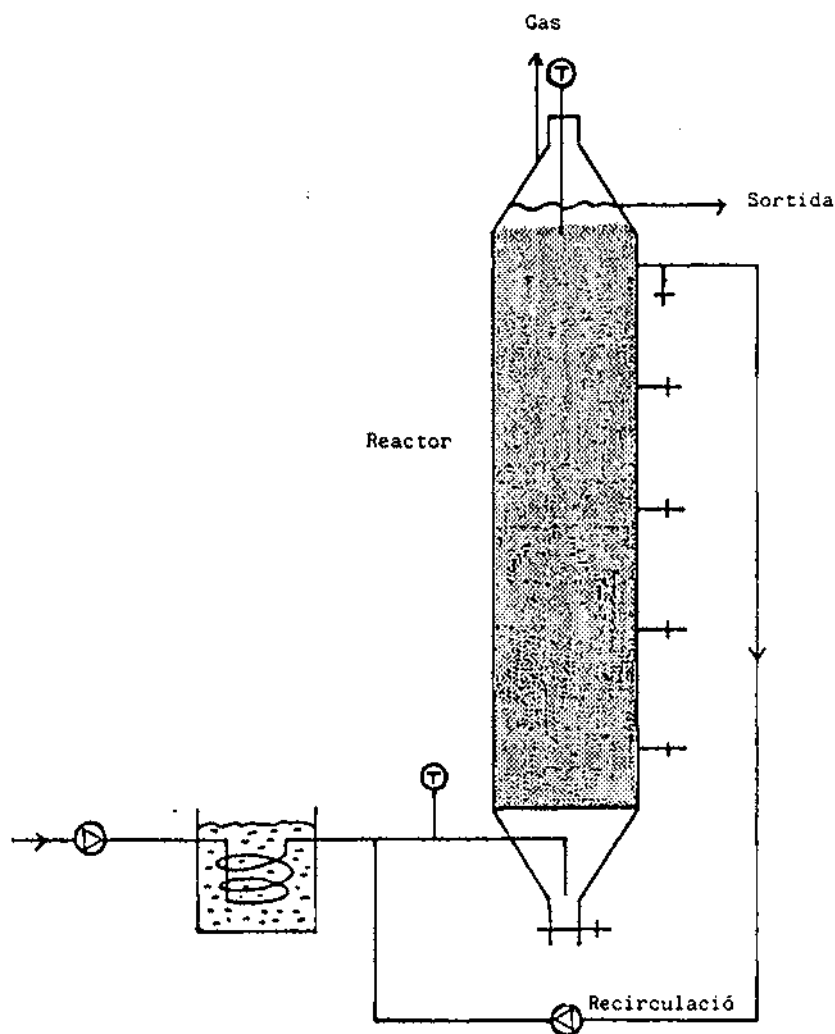


Figura 1. Esquema de la instal·lació experimental.

En aquest digestor, el manteniment de la flora activa independent del flux de l'aigua residual permet treballar amb aigües diluïdes amb càrregues orgàniques elevades o, cosa que és igual, amb temps de retenció hidràulica baixos (fraccions de dia) i amb temps de retenció de sòlids (TRS) alts, superiors, fins i tot, a 100 dies. En conseqüència, es poden tractar aigües residuals amb càrrega orgànica molt baixa ($500 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) (2).

L'aliment és decantat prèviament per evitar possibles obturacions provocades pels sòlids en suspensió en el llit.

El rebliment que serveix de suport té una influència decisiva en el bon funcionament del digestor. S'ha proposat que el suport òptim ha de reunir les característiques següents (3):

- Ha de tenir una gran porositat.
- Ha de tenir la major superfície possible per a l'adhesió bacteriana.
- El material que forma el rebliment ha de ser lleuger en benefici de l'estructura que suporta el reactor.
- El rebliment ha de ser barat.

Els reactors anaerobis de llit fix tenen una sèrie de característiques que els fan molt útils per al tractament d'una gran varietat d'aigües residuals (4). Algunes d'aquestes característiques són:

- Poder operar amb càrregues orgàniques relativament elevades en un rang de temperatura ampli.
- Gran resistència a les variacions de pH (entre 6 i 8) sense pèrdua important de l'activitat metanògena.
- Resistència als tòxics.
- Tolerància davant les sobrecàrregues.

L'aplicació industrial d'una primera aproximació a un filtre anaerobi es va fer a Finlàndia l'any 1953 (5). Des d'aleshores són abundants aquests tipus d'instal·lacions. Cal destacar alguns digestors existents als Estats Units pel tractament d'efluents de fàbriques de midó i sobre tots el Filtre Anaerobi d'un volum de 15.900 m^3 de la companyia Bacardi Corporation a San Juan de Puerto Rico (6).

A Espanya podem destacar dos filtres instal·lats a Tomelloso (Ciudad Real), amb una capacitat de 2000 m^3 cadascun, i que tracten vinasses d'alcoholera; i un filtre de 1490 m^3 de capacitat, instal·lat en l'empresa Antibiótics, S.A., de Lleó, que tracta una aigua residual farmacèutica.

A Catalunya hi ha instal·lat un filtre pilot de 2 m^3 , que tracta la fracció líquida dels purins de porc en una granja de Caldes de Montbui.

MATERIALS I MÈTODES

Aigua residual

L'aigua residual a tractar és l'efluent d'una feculera de midó. Les característiques de l'aigua residual corresponents a cadascun dels distints bidons utilitzats s'especifiquen a les taules 1 i 2.

Taula 1. Característiques de l'aigua residual.

Bidó	DQO _t (g.l ⁻¹)	DQO _s (g.l ⁻¹)	pH	N-NH ₄ ⁺ (mg.l ⁻¹)	AcH (g.l ⁻¹)	PrH (g.l ⁻¹)	n-butH (g.l ⁻¹)	i-valH (g.l ⁻¹)
1	7,57	5,90	6,0	293,2	1,38	1,26	2,88	-
2	16,03	14,39	5,9	642,7	1,89	0,79	0,26	-
3	13,36	11,99	6,0	591,1	1,67	1,21	0,18	-
4	12,69	11,25	5,8	543,7	2,16	2,09	0,45	0,09
5	13,90	9,78	5,7	591,1	1,59	1,39	0,29	0,09
6	11,59	9,23	5,6	521,4	1,83	2,26	0,47	0,13
7	14,93	13,84	5,8	728,7	2,45	2,01	0,51	0,14
8	15,96	14,58	5,6	728,7	1,82	0,57	0,54	0,20
9	15,77	15,13	5,2	642,7	2,60	2,18	0,54	0,15
10	14,55	13,47	5,4	616,4	2,27	1,72	0,51	0,14

Taula 2

Bidó	ST (g.l ⁻¹)	SV (g.l ⁻¹)	Proteïna (g.l ⁻¹)	Na ⁺ (mg.l ⁻¹)	Ca ²⁺ (mg.l ⁻¹)	K ⁺ (mg.l ⁻¹)	P-PO ₄ ³⁻ (mg.l ⁻¹)
1	5,76	3,54					
2	13,86	8,55	2,47	19,4	82	148,7	4,79
3	11,14	7,08					
4	10,79	5,99					
5	8,58	5,32	2,56	-	124	130,3	4,79
6	12,64	8,39	1,90	30,5	120	110,8	3,23
7	12,9	8,77					
8	11,44	7,63					
9	10,85	7,24					
10	9,88	6,18	1,92	39,8	86	121,8	5,20

Inòcul

L'inòcul amb què es va carregar el digester procedeix d'un digester anaerobi que tracta els ilots d'una planta aeròbia de depuració d'aigües residuals urbanes.

Mètodes analítics

Les anàlisis efectuades periòdicament a l'efluent són:

- Determinació del pH. Es mesura amb un elèctrode de vidre connectat a un pHmetre CRISON 501. La sensibilitat de l'aparell és de 0,01 unitats de pH.

- Demanda Química d'Oxigen total (DQO_t) i soluble (DQO_s) segons «standard methods» (7).

- Nitrogen amoniacal, mitjançant un elèctrode específic, marca ORION model (95-12-00), prèviament calibrat amb solucions patró de clorur amònic i connectat a un pHmetre.

- Determinació de S.S.V. segons «standard methods».
- Àcids grassos volàtils (AGV) i composició de biogàs per cromatografia de gasos.
- Determinació del volum de gas produït. S'ha mesurat amb un comptador de gasos electrònic.

Instal·lació experimental

El reactor és un cilindre de vidre de 5,16 litres de capacitat. La seva alçada és de 98 cm i el diàmetre interior de 8 cm.

La part inferior és un con amb una entrada d'aliment connectada a un tub interior en forma de L invertida per aconseguir una millor distribució del corrent d'entrada.

La part superior del digestor consta d'una peça cilíndrico-cònica on hi ha situades les sortides de gas i d'efluent per sobreeixidor.

Per tal de mantenir una temperatura constant, el reactor és a l'interior d'una cambra amb calefactor i controlador de temperatura.

L'aliment, procedent d'una cambra frigorífica, circula per un serpentí immersit en un bany termostàtic per assegurar l'entrada en el reactor a la temperatura desitjada.

L'alimentació i la recirculació es realitzen amb bombes peristàltiques de velocitat variable.

El rebliment són anells de plàstic PVC corrugat, de 1,5 cm de llargada per 1,5 cm de diàmetre. La porositat calculada del llit és del 88,5 %.

Procediment d'engegada

L'engegada d'un reactor de llit fix és possiblement l'etapa més difícil. Pot durar entre 10 i 270 dies, depenent de l'inòcul emprat. Per obtenir una operació satisfactòria, i a la vista de l'elevada concentració d'AGV de l'inòcul, es va carregar el digestor amb 2,35 litres de llots i 2,35 litres d'aigua a 33 °C, amb la qual cosa la concentració de SST fou de 17,042 g.l⁻¹, i la de SSV de 9,085 g.l⁻¹. Aquesta forma de carregar el digestor abarateix, al mateix temps, els costos d'una engegada de qualsevol digestor a escala industrial.

La càrrega volumètrica amb què es començà a alimentar el digestor era de 0,84 kg.DQO m⁻³ d⁻¹, i va anar sent augmentada progressivament, fins a una càrrega de 3 kg DQO m⁻³d⁻¹.

El temps de retenció hidràulic (TRH) es va mantenir constantment igual a 5,16 dies per dilucions successives de l'aliment.

Per evitar una colonització desigual del rebliment es va mantenir una recirculació adequada.

La temperatura del reactor es manté constant a 30 °C.

L'alimentació només s'efectua cinc dies a la setmana, però es manté la recirculació.

RESULTATS I DISCUSSIÓ

A la Figura 2 es representa la càrrega volumètrica (C_v), la DQO d'entrada i el percentatge de depuració aconseguit enfront del temps en dies.

La C_v i la DQO d'entrada van augmentant progressivament per al mateix temps de retenció hidràulic (TRH), com a efecte de la disminució en la dilució de l'aliment.

El percentatge de depuració és inicialment baix per la manca d'acimatació de la flora bacteriana i d'una població estable, però augmenta ràpidament, en tres setmanes, per mantenir-se per sobre del 80% independentment de la càrrega aplicada.

D'altra banda, la Figura 3 mostra la càrrega volumètrica (C_v); la concentració de sòlids en suspensió volàtils enfront del temps en dies. Aquesta gràfica permet avaluar el rentat de biomassa en el reactor. Pel que es veu en la gràfica, el rentat de llots es manté pràcticament constant durant tota l'engegada.

La Figura 4 presenta la càrrega volumètrica (C_v), el pH d'entrada i el pH de sortida enfront del temps en dies. S'observa el pH de sortida oscil·lant al voltant de 8 en forma constant, malgrat que a partir del dia 25 el pH d'entrada es rebaixés artificialment fins a 5,1. Aquesta característica és deguda al bon tamponat del medi com a conseqüència de l'alta concentració de $N-NH_4^+$. Es nota que, malgrat que la flora bacteriana treballa de forma òptima a un pH de 7, s'acimata perfectament a un pH de 8.

A la Figura 5 es representen la càrrega volumètrica, la concentració de nitrogen amoniacal ($N-NH_4^+$) i la concentració d'àcids grassos volàtils enfront del temps en dies.

S'hi observa els primers dies una gran concentració d'àcids grassos volàtils de tota mena a causa dels llots inicials. Més endavant, i fins al darrer dia, s'hi detecta només la presència d'àcid acètic i propiònic.

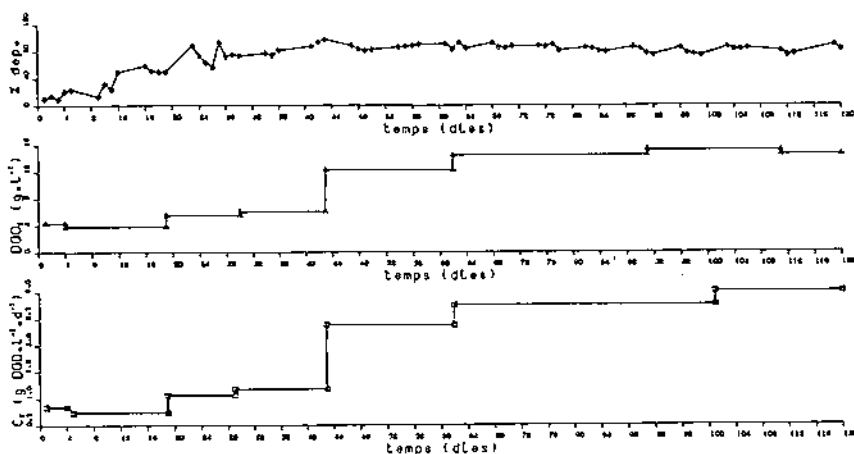


Figura 2. Relació entre la càrrega aplicada i el percentatge de depuració.

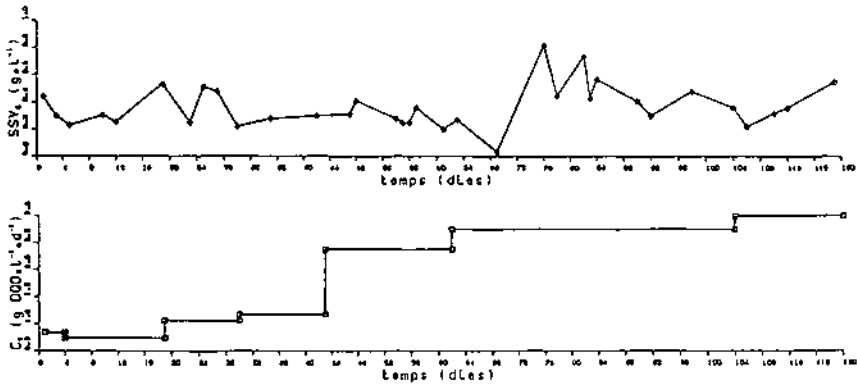


Figura 3. Relació entre la càrrega aplicada i la concentració de sòlids en suspensió volàtils.

Els pics que s'observen corresponen a augments de càrrega. Entre els dies 44 i 60 hi ha una acumulació de propiònic com a conseqüència de l'augment de càrrega corresponent al dia 43. Més endavant el reactor es recupera normalment.

El nitrogen amoniacal (N-NH_4^+) es manté pràcticament constant entre 200 mg l^{-1} i 400 mg l^{-1} , independentment de l'augment de la càrrega. Els últims dies s'observa un augment important de la concentració de N-NH_4^+ entre els 500 i els 700 mg l^{-1} perquè s'alimenta sense dilució.

S'ha avaluat l'estat estacionari del reactor per a $C_v = 3 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$. S'hi ha observat una operació estable amb concentracions baixes d'àcids grassos volàtils; unes reduccions de DQO_1 i DQO_{sol} del 86,6% i del 89,2% respectivament.

D'altra banda, la reducció de sòlids volàtils va arribar al 80,5% i la de ST al 54,9%. Aquesta reducció de sòlids totals és baixa pel fet que en l'aigua residual hi ha una concentració important de sòlids inorgànics.

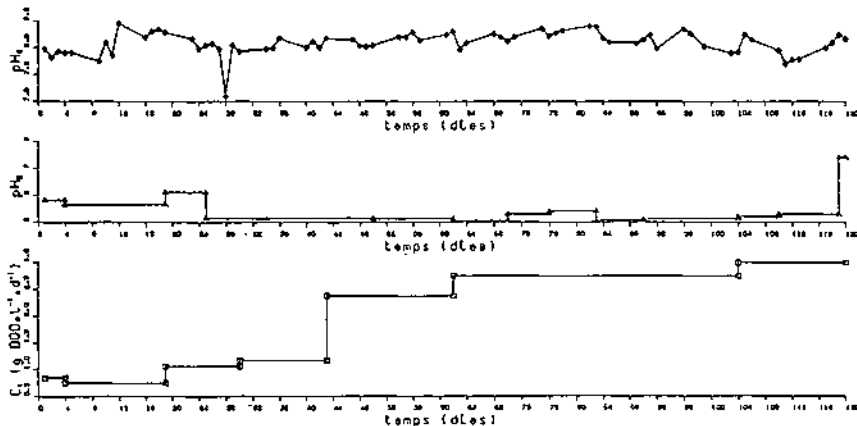


Figura 4. Gràfica comparativa entre el pH d'entrada i el pH de sortida en el reactor.

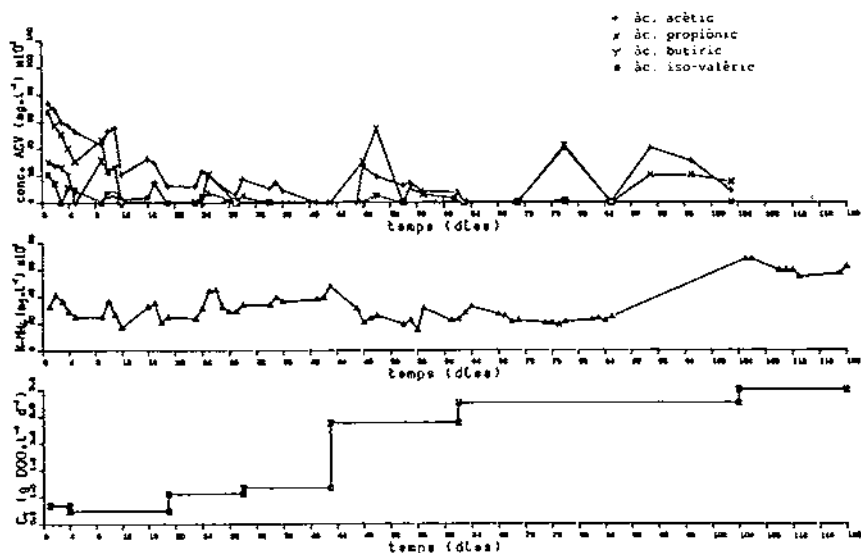


Figura 5. Representació de la càrrega volumètrica, la concentració de $N-NH_4^+$ i la concentració d'AGV.

La producció mitjana de gas ha estat de l'ordre de 6 ld^{-1} , amb una composició del 58% de metà i 42% d'anhidrid carbònic.

El pH s'ha mantingut igual a 8,2, tot i que el pH d'entrada era de 5,2.

La concentració de $N-NH_4^+$ ha estat baixa, de l'ordre de 238 mg l^{-1} .

CONCLUSIONS

S'ha posat a punt un reactor experimental de laboratori que ha permès estudiar l'eficàcia de depuració i la caracterització de l'estat estacionari. El funcionament ha estat correcte.

Tot i que es recomana omplir el reactor totalment amb llots, es veu que, en benefici d'un rendiment econòmic important, sobretot en procediments industrials, funcionaria perfectament omplint el digester amb la meitat de volum d'inòcul i l'altra meitat d'aigua.

Bibliografia

- McCARTY, P.L. (1968). Anaerobic treatment of soluble wastes. Dins EKENFELDER, W.W. & GOLYNA, E.F. (eds.). *Advance in Water Quality Improvement*. Univ. of Texas Press. Austin-London.
- YOUNG, J.C. & McCARTY, P.L. (1969). *J. Water Pollut. Control Fed.*, 41/5, R160-C173.
- FROSTELL, B. (1978). *Influence of media properties on the loading capacity of anaerobic filters*. Report Swedish Water and Air Pollut. Res. Inst.

- PARÍS, J.M. (1986). Los reactores anaerobios de lecho fijo; características, operación y aplicación a la depuración de aguas residuales. Dins *3er Seminario Depuración Anaerobia de Aguas Residuales*. Valladolid.
- MAKKONLIS, O.H.P. (1953). Sand filter for use with septic tank. Disn *Design and operation of septic tanks*. WHD Monograph Series.
- SZENDREY, L.M. (1983). Start-up and operation of the Bacardi Corporation anaerobic filter. *Proc. 3rd Int. Symp. on Anaer. Dig.* Cambridge (Massachusetts, USA).
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and waste water*. 14a ed. APHA. Washington.