

ESTUDI DE L'EFICÀCIA DEL PROCÉS DE CONTACTE ANAEROBI APLICAT A LA DEPURACIÓ DE L'AIGUA RESIDUAL D'UNA INDÚSTRIA AGRO-ALIMENTÀRIA.

1. EXPERIMENTS A L'INTERVAL MESÒFIL DE TEMPERATURA

Teresa Vicent*, Josep M. París i Margarida Camprubí

Divisió d'Enginyeria Química. Departament de Química. Universitat Autònoma de Barcelona. Bellaterra (Barcelona).

* Adreça actual: Divisió de Química. Estudi General de Girona (UAB). Girona.

RESUM

Es presenten els resultats obtinguts en l'aplicació del procés de contacte anaerobi a la depuració de l'aigua residual d'una indústria d'extracció de proteïna de la userda. L'estudi es realitza inicialment a l'interval mesòfil (35 °C) tractant un aigua residual mitjanament carregada (DQO: 30.000 mg O₂.l⁻¹) i temps de retenció entre 20 i 5,6 dies. S'obté una depuració de fins al 90 % i una producció de biogas màxima de 1,6 m³m⁻³.d⁻¹ amb una composició mitjana en metà del 75 %.

Mitjançant un tractament dels resultats obtinguts és possible d'obtenir relacions que permeten conèixer per a una càrrega volumètrica d'entrada determinada, la càrrega volumètrica que es pot eliminar i en funció d'aquesta preveure els volums de gas i metà produïts. Finalment, coneixent el volum de metà produït per gram de DQO d'entrada per a cada temps de retenció estudiat, es pot calcular el potencial metanogen de l'aigua residual que en aquest cas resulta ser de 0,353 lCH₄ · g⁻¹DQO_e.

RESUMEN

Se presentan los resultados obtenidos en la aplicación del proceso de contacto anaerobio a la depuración del agua residual de una industria de extracción de proteína de la alfalfa. El estudio se realiza inicialmente en el intervalo mesófilo (35 °C) tratando un agua residual medianamente cargada (DQO: 30.000 mg O₂.l⁻¹) y tiempo de retención entre 20 y 5,6 días. Se obtiene una depuración de hasta el 90 % y una producción de biogás máxima de 1,6 m³m⁻³.d⁻¹ con una composición media en metano del 75 %.

Mediante un tratamiento de los resultados obtenidos es posible obtener relaciones que permiten conocer para una carga volumétrica de entrada determinada, la carga volumétrica que se puede eliminar y en función de ésta preveer los volúmenes de gas y metano producidos. Finalmente, conociendo el volumen de metano producido por gramo de DQO de entrada para cada tiempo de retención estudiado, se puede calcular el potencial metanógeno del agua residual que en este caso resulta ser de 0,353 lCH₄ · g⁻¹DQO_e.

ABSTRACT

This paper deals with the application of the anaerobic contact process to the treatment of a wastewater coming from an alfalfa-processing plant. Results are reported on mesophilic experiments (35 °C), when a medium strength wastewater (COD: 30.000 mg O₂·l⁻¹), has been digested with hydraulic retention times ranging from 20 to 5.6 days. A COD removal efficiency up to 90 % has been achieved, while the maximum gas production rate was 1.6 m₀³m_D⁻³·d⁻¹ with an average methane contents of 75 %.

Data analysis lead to useful relationships which allow to foresee the removed organic load, as well as the gas production rate, when a certain loading rate is applied.

Finally, a plot of the yield (1 CH₄·g COD_{in}⁻¹) vs. the hydraulic retention time lead to the calculation of the methanogenic potential of such a wastewater. In these studies, a value of 0.353 1 CH₄·g COD_{in}⁻¹ was obtained for such parameter.

Key words: Anaerobic digestion, contact process, industrial wastewater, methanisation, mesophilic.

INTRODUCCIÓ

El tractament anaerobi de residus orgànics presenta un gran nombre d'avantatges respecte al procés aerobi i als mètodes químics. El principal d'aquests avantatges és que es pot aconseguir un alt grau de depuració del residu amb una producció relativament baixa de sòlids biològics juntament amb un biogàs (CO₂, CH₄) de valúos poder energètic.

El principal desavantatge d'utilitzar un procés anaerobi és la relativament baixa conversió de matèria orgànica en cèl·lules, particularment bacteris metanògens. Aquesta baixa conversió pot presentar un problema en el tractament d'alguns residus i proporciona al sistema una major sensibilitat als canvis bruscs de càrrega orgànica. El desenvolupament del procés de contacte anaerobi, UASB i d'altres ha disminuït els problemes tradicionalment associats a la digestió anaeròbia, ja que es pot mantenir una elevada població bacteriana en els reactors per recirculació de sòlids i altres mecanismes i fan que el procés sigui adequat per al tractament de residus taní poc com molt carregats.

Digestió anaeròbia d'aigües residuals industrials

El tractament anaerobi en la depuració d'aigües residuals industrials s'ha aplicat, principalment, en indústries de tipus agroalimentàries: sucres, conserves vegetals i de fermentacions. Recentment també s'ha aplicat a aigües residuals d'indústries farmacèutiques, tèxtils, papereres i petroquímiques.

Els efluent de les indústries agroalimentàries es caracteritzen per la seva alta càrrega i el seu alt contingut en substrats fàcilment degradables, com polisacàrids.

Un sistema de tractament anaerobi d'aigües residuals pot treballar tant a baixes com a altes temperatures, resistir alguns tòxics i eventualment degradar compostos inhibidors. Per a aconseguir millors resultats una alternativa és augmentar el temps de retenció dels sòlids (TRS) per damunt del temps de retenció hidràulic (TRH), de tal manera que el comportament del digestor pot arribar a ser independent d'aquest últim.

Amb els recents progressos tecnològics ha estat possible el tractament anaerobi d'aigües residuals amb DQO (demanda química d'oxigen) de 300-100.000 mg $O_2 \cdot l^{-1}$ a temperatures entre 5 i 55 °C i amb TRH de 30 dies fins a 3 hores, podent-se realitzar amb costos d'operació cada cop més baixos.

La selecció d'un determinat sistema anaerobi per a tractar un aigua residual es fa en base al contingut inicial de sòlids, relació entre DQO total i soluble, temperatura i nivell de tractament desitjat. L'eliminació de contaminants depèn de la càrrega aplicada respecte a la biomassa retinguda en el reactor. La reducció en DQO del 80-90 % és normalment realitzada sense dificultats i amb costos més baixos respecte al procés aerobi. Les càrregues orgàniques recomanades per a realitzar aquestes reduccions, depenen del tipus d'efluent a tractar, és a dir, de la seva relativa biodegradabilitat.

Procés de contacte anaerobi

El procés de contacte anaerobi va ser el primer en introduir la retenció de microorganismes en el digestor independentment del temps de retenció hidràulic.

Ha estat estudiat amb molt de detall (1, 2) i aplicat a diferents tipus d'aigües residuals. A les taules 1 i 2 es mostren alguns exemples i els resultats de depuració obtinguts. La màxima càrrega volumètrica que pot aplicar-se al digestor depèn del tipus d'aigua a tractar. Els valors més baixos s'han obtingut per a aigües riques en carbohidrats i els més alts per a residus complexos sense carbohidrats. En la majoria dels casos, l'eficàcia de depuració (eliminació de DQO) depèn de la bona sedimentació i de la recirculació del material en suspensió (flocs bacterians i material no digerit). Pot sedimentar només una part del material en suspensió degut a la insuficient floculació dels bacteris, al gas atrapat en els flocs o a canvis en el comportament del fermentador.

TRACTAMENT D'UN AIGUA RESIDUAL INDUSTRIAL

Característiques de l'aigua residual

A la Fig. 1 es presenta el diagrama bàsic del procés d'extracció de proteïna de la userda. L'aigua residual a tractar són els solubles que estan constituïts

Taula 1. Comparació entre la composició del residu i l'eficàcia dels fermentadors de contacte anaerobi.

Residu	Càrrega volumètrica màx. (kg. m ⁻³ . d ⁻¹)	DQO del residu (g. l ⁻¹)	Propor. com N _{total} com N _{proteïna}	TRS (dies)	eficiència decantabilitat (%)	DQO elim. (%)
patates	2,0	30	70	40	60	80
pell patates	2,6	51	35	27	25	70 *
destil·leria rom	3,0	53	46	90	80	80
pell peres	3,8	38	37	200	85-90	90
pell patates amb 4 g.l ⁻¹ d'extract de llevats	4,8	43	29	44	10-15	65
patates amb 4 g.l ⁻¹ d'extract de llevats	5,5	34	55	55	40	80
pell de peres amb 1,5 g.l ⁻¹ d'extract de llevats	5,9	40	35	135	80	90
pell, faves, fesols llots d'aigües residuals simulats sense inòcul	7,2	22	25	25	75-80	88
lots d'aigües residuals simulats amb inòcul	8,7	55	20	20	65-70	70-75
aigua residual de destil·leria de rom amb 1,5 g.l ⁻¹ d'extract de llevat	9,7	55	20	20	70-75	75-80
	10,0	55	43	60	85	80

Taula 2. Exemples de resultats obtinguts en el tractament per digestió anaeròbia d'efluents d'indústries agro-alimentàries.

Origen de les aigües tractades	Escala dels assajos	Temp. de digestió (°C)	Temps de residència (dies)	Paràmetre mesurat	DBO o DQO (kg.l ⁻¹)	Rendiment depuració (%)
Escorxador	Industrial	33	0,69	DBO	1500	93
Escorxador	Industrial	33	2,94	DBO	1500	94
Escorxador	Industrial	33	1,25	DBO	2100	96
Escorxador	Industrial	33-36	6-18	DBO	1600-2100	88-93
Acondicionament de carn	Industrial	35	0,50	DBO	1600	95
Acondicionament de carn	Industrial	32	0,54	DBO	1380	91
Producció de midó de blat de moro	Industrial	20-27	2,5-4,5	DBO	6300	88
Cerveseria	Industrial	?	2,23	DBO	3280	96
Destil·leria	Industrial	30	7,20	DBO	22400	98
Destil·leria	Industrial	30	5,30	DQO	12000	97
Destil·leria	Industrial	33	6,20	DQO	25000	96
Destil·leria	Industrial	35	0,92	DBO	845	93
Destil·leria rom	Pilot lab.	33-36	20-30	DQO	70000-100000	70-80
Destil·leria melassa de remolatxa	Laboratori	35	10	DBO	6900	80-95
Producció de llevats	Industrial	30	2,00	DBO	3040	87
Producció de llevats	Industrial	30	1,20	DBO	5080	85
Producció de llevats	Laboratori	30	variable	DQO	16000	60-70
Llet	Industrial	31	6,00	DBO	3300	99,5
Llet	Industrial	31	6,00	DBO	380	80
Llet	Industrial	31-36	7	DQO	1600-2100	70-90

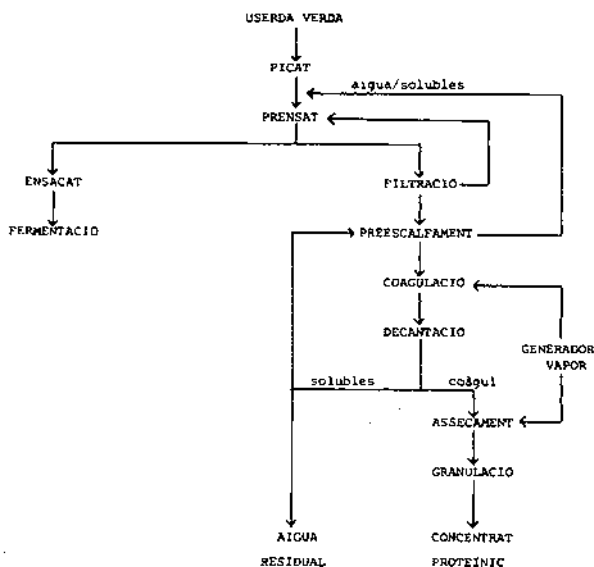


Figura 1. Diagrama bàsic del procés industrial d'extracció de proteïna de la userda.

principalment per glúcids, essent la resta de les seves característiques mitjanes:

DQO	34,50 g.l ⁻¹	pH	5
DQO _s	31,50 g.l ⁻¹	N amoniacal	0,15 g N.l ⁻¹
STS	1,35 g.l ⁻¹	ortofosfats	0,14 g P.l ⁻¹
SVS	1,25 g.l ⁻¹	proteïna	0,90 g.l ⁻¹

àcids grassos volàtils:

làctic	6,6 g.l ⁻¹
succínic	2,7 g.l ⁻¹
acètic	2,2 g.l ⁻¹

El procés tecnològic consisteix en l'extracció d'una part del suc de la userda, amb el que es recuperen les proteïnes solubles. Aquestes són posteriorment utilitzades per a obtenir un concentrat proteic a base de proteïnes foliars de gran valor biològic, i determinats pigments carotenoides i vitamines, de gran valor àdhuc per al consum directe per l'home. Els sòlids residuals poden ensacar-se en condicions nutricionals òptimes, de fàcil conservació i administració, el que permet utilitzar-los amb èxit en l'alimentació de ruminants i porcs.

Com es pot observar, es tracta d'un aigua residual mitjanament carregada, rica en sucres i poc mineralitzada. Des del punt de vista de nutrients està ben equilibrada i per tant, en principi no necessitarà aportaments suplementaris.

Com que és rica en substàncies fàcilment fermentables permet esperar una bona depuració amb temps de retenció relativament curts. Aquesta característica obliga a extremar les precaucions sobre el sistema, perquè, com és sabut, per a substrats fàcilment hidrolitzables pels bacteris acidògens, la transformació de l'acetat en metà, o etapa metanògena, és el factor limitant del conjunt de la digestió. Això és degut a que es pot produir molt fàcilment la desestabilització del sistema per l'acumulació d'àcids grassos volàtils, al no poder consumir-los els bacteris metanògens tan ràpidament com es van produint (3, 4, 5, 6, 7). D'altra banda, el contingut de l'aigua en nitrogen orgànic permet pensar que no es presentaran problemes d'acumulació d'amoniac en el digestor.

Instal·lació experimental

Degut a les característiques del vertit es va pensar en el seu tractament mitjançant el procés de contacte anaerobi. Es va dissenyar una instal·lació de laboratori esquematitzada a la Fig. 2, que constava essencialment d'un

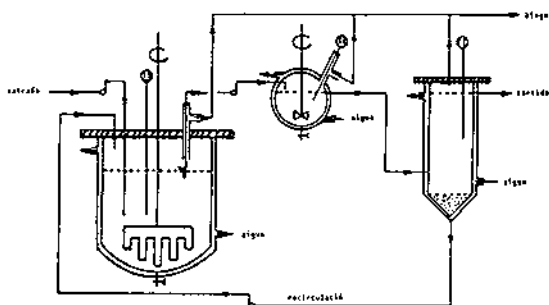


Figura 2. Esquema del digester de contacte anaerobi de laboratori utilitzat en aquest treball.

reactor de 5 litres i un decantador de 2 litres. Entre els dos es va situar un petit dipòsit de 125 ml que permetia actuar amb medis externs, físics, químics i tèrmics sobre el sistema per a millorar la decantabilitat dels llots.

Una bomba peristàltica realitzava simultàniament l'alimentació al reactor per a passar al decantador. Un temporitzador estava connectat a la bomba peristàltica per a aconseguir que l'alimentació encara que fos de volumens petits es realitzara durant el major temps possible. També estava connectat a l'agitador del digester per a aconseguir la mínima velocitat d'agitació suficient per a la homogeneització del digester i que no es trencaren els agregats bacterians, tan importants per a la posterior decantabilitat dels llots. Tant el digester com el decantador i mesclador estaven encamisats per a permetre la seva termostatització.

El gas que es desprèn es recollia en un petit dipòsit en el que hi havien tres sondes de nivell connectades a un comptador de gasos, que constava

essencialment d'un controlador de nivell, una electrovàlvula i un comptador d'impulsos elèctrics.

Inicialment es va dissenyar un control automàtic del pH però l'experiència va demostrar que les sondes es taponaven donant un senyal fals i es va passar posteriorment a realitzar la mesura del pH directament de la mostra de líquid del digestor que s'extreia diàriament per a fer les anàlisis de rutina i si era necessari s'afegia àcid o alcali junt a l'alimentació per a mantenir el digestor en l'interval de pH adequat.

Procediment experimental

Es planifica el tractament per digestió anaeròbia de l'aigua residual a dos temperatures diferents, a 35 °C a l'interval mesòfil i a 55 °C a l'interval termòfil. A continuació es resumeixen els experiments realitzats en els dos intervals.

Mesòfil

- selecció de l'inòcul
- estudis en semicontinu
- experiments en continu

Termòfil

- selecció de l'inòcul
- experiments en continu
- comportament dinàmic

EXPERIMENTS A L'INTERVAL MESÒFIL

L'objectiu és saber la càrrega orgànica màxima admesa pel sistema, disminuint el temps de residència i mantenint la concentració de matèria orgànica a l'aliment.

Abans de realitzar l'estudi en continu es van realitzar diferents experiments a nivell semicontinu a fi d'escollir l'inòcul adequat per a carregar el digestor. Es proven dos fonts d'inòcul diferents, purins de porc digerits i fem de vaca. Els dos donen bons resultats i s'escollim el primer per problemes de disponibilitat del segon.

Un cop seleccionat l'inòcul es va carregar el digestor amb 4 litres d'aquest i un litre d'aigua residual.

Les variables d'operació són:

T digestor:	35 °C.
T decantador:	20 °C.
Càrrega volumètrica:	s'augmenta progressivament.
pH digestor:	7,0.
Condicions mesclador:	en principi es manté sense agitació i no es modifica perquè els resultats que es van obtenint són satisfactoris.
Disseny decantador:	es manté en posició vertical i com la decantabilitat dels llots és bona no es canvia.
Agitació del digestor:	50 rpm durant 2 min cada 5 min.

Els paràmetres que es segueixen i anàlisis que es realitzen són: DQO entrada, digestor i sortida, STS, SVS entrada, digestor i sortida, pH digestor, Volum de gas produït, Composició del gas, Nitrogen amoniacal, Proteïna, Fòsfor com ortofosfats.

La periodicitat de les anàlisis depèn de les necessitats del moment, realitzant-se diàriament DQO, STS, SVS i pH.

Per a determinar la màxima càrrega volumètrica admesa pel sistema, es va augmentant la velocitat de càrrega en una proporció de 10 a 25 % fins que el fermentador és incapaç de fer front a la càrrega i es desestabilitza. Abans d'arribar a aquesta sobrecàrrega el fermentador actúa el temps necessari per a cada càrrega.

Els règims d'alimentació del pilot de laboratori per als diferents períodes estudiats es donen a la Taula 3.

Taula 3. Règims d'alimentació del pilot de laboratori.

Setmanes	Q alimentació ($l \cdot d^{-1}$)	TRH (dies)
1-3	0,250	20
4-5	0,400	12,5
6-7	0,500	10
8-9	0,600	8,3
10-12	0,700	7,14
13-15	0,800	6,25
16-22	0,900	5,6

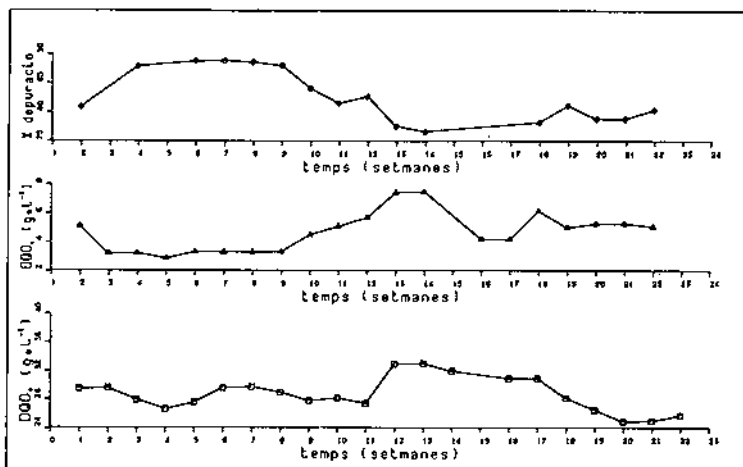


Figura 3. Variació de la DQO d'entrada i sortida i rendiment de depuració amb el temps.

RESULTATS I DISCUSSIÓ

Resultats

En la Taula 4 es presenten els valors mitjans dels paràmetres seguits per cada temps de retenció.

A la Fig. 3 es representen DQO_e , DQO_s i % Depuració front al temps en setmanes. La DQO_e varia degut a que la indústria és estacional i per tant el subministre d'aigua residual era temporal i es va mantenir congelada. La DQO de sortida al principi va ser més alta perquè el digester estava carregat de llots. Pel mateix motiu el % de Depuració és al principi baix, augmentant posteriorment i estabilitzant-se fins a un temps de residència d'aproximadament 8 dies, per a continuació disminuir al fer-ho el temps de residència, però mantenint-se durant tot l'experiment en un interval del 75 al 90 %.

En la Fig. 4 es representa el pH, la producció de biogàs i la composició d'aquest en metà, front al temps en setmanes. El pH es manté en l'interval

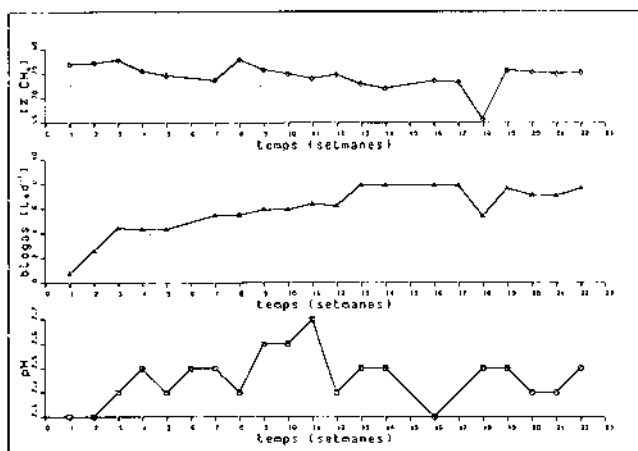


Figura 4. Variació del pH, volum de biogàs produït i CH_4 amb el temps.

de 7,3 a 7,6 sense necessitat d'afegir cap reactiu, la qual cosa es reflexa en la composició del gas en metà que es manté als voltants del 75 %. La producció de gas, com és lògic, augmenta al disminuir el temps de residència excepte per a l'últim període en que disminueix lleugerament. Per tant, la velocitat màxima de producció de biogàs estava entre aquest temps de residència final i l'anterior.

Una anàlisi dels resultats obtinguts indica que si el que es pretén és aconseguir la màxima depuració de l'aigua residual a tractar, és convenient treballar a temps de retenció de fins 8 dies, i en canvi si es pretén obtenir la màxima producció de gas és recomanable treballar a un temps de residència més baix, aproximadament de 6 dies.

Taula 4. Resultats obtinguts.

Setmana	TRH (dies)	V_c ($l \cdot d^{-1}$)	DQO_e ($g \cdot l^{-1}$)	DQO_s ($g \cdot l^{-1}$)	DQO_D ($g \cdot l^{-1}$)	SVS_c ($g \cdot l^{-1}$)	SVS_s ($g \cdot l^{-1}$)	SVS_D ($g \cdot l^{-1}$)	gas ($l \cdot d^{-1}$)	% CH_4
1-3	20	0,25	29,25	3,40	22,97	1,62	1,27	11,97	3,08	77,5
4-5	12,5	0,40	27,40	3,04	21,94	0,84	1,20	10,20	4,33	75,0
6-7	10	0,50	29,67	3,32	20,91	1,80	0,95	9,75	5,47	74,0
8-9	8,3	0,60	28,50	3,30	20,41	1,79	0,72	8,83	5,73	76,8
10-12	7,14	0,70	27,88	5,10	22,80	1,45	1,17	8,65	6,40	75
13-15	6,25	0,80	32,37	7,47	22,40	2,60	0,75	8,01	7,97	72,9
16-22	5,56	0,90	25,60	5,16	21,40	2,40	0,74	10,10	7,37	75,0

Taula 5. Paràmetres deduïts.

TRH (dies)	V_G^G ($m^3 \cdot m_D^{-3} \cdot d^{-1}$)	V_{CH_4} ($m^3 \cdot m_D^{-3} \cdot d^{-1}$)	$C_{m_{el}}$ ($kg \cdot DQO_{el}^{-1} \cdot d^{-1}$)	$C_{v_{el}}$ ($kg \cdot DQO_{el}^{-1} \cdot m_D^{-3} \cdot d^{-1}$)	C_{v_c} ($kg \cdot DQO_{el}^{-1} \cdot m_D^{-3} \cdot d^{-1}$)
12,5	0,87	0,65	0,191	1,95	2,19
10	1,09	0,81	0,270	2,63	2,97
8,3	1,15	0,88	0,344	3,04	3,42
7,14	1,28	0,96	0,370	3,2	3,90
6,25	1,59	1,16	0,497	3,98	5,18
5,56	1,47	1,11	0,364	3,68	4,61

Tractament de les dades

a) Paràmetres tecnològics

Es tracta d'obtenir una sèrie de paràmetres tecnològics aplicats al nostre sistema i per a aquestes aigües que permetin d'obtenir les dades de disseny i operació per a una planta industrial.

A la taula 5 es presenten els valors mitjans d'alguns paràmetres derivats, corresponents a cada temps de retenció.

Hi ha diferents paràmetres que resulten d'interès tant des del punt de vista depurador com productor d'energia. Així doncs, a la Fig. 5 es

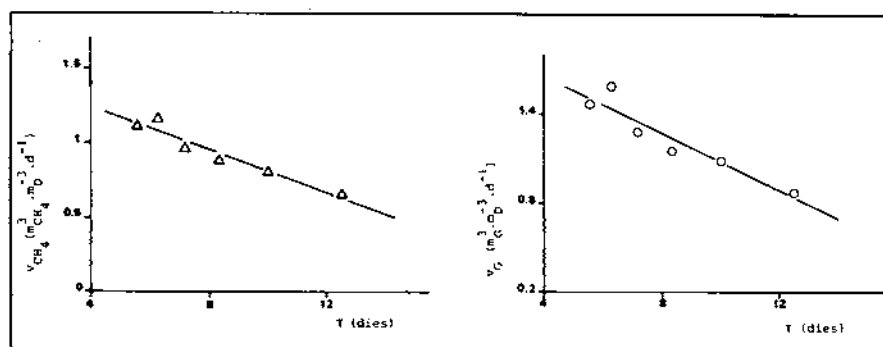


Figura 5. Variació de la producció diària de biogàs i metà per unitat de volum de digester amb el temps de retenció.

representen conjuntament els valors de la producció de biogàs i de metà per unitat de volum de digester i a la Fig. 6 les càrregues volumètriques i màssiques eliminades, en els dos casos corresponents a cada temps de retenció. Com es pot observar, els valors obtinguts s'ajusten bastant bé a equacions de rectes, essent vàlid aquest ajust només per als temps de residència aplicats ja que si seguim disminuint el temps de residència s'observaria una disminució de les velocitats de producció de gas i metà doncs s'estaria a prop del temps de rentat de la flora del reactor o «wash-out».

A la Fig. 7 es representa la càrrega volumètrica que s'elimina front a la que s'alimenta, i s'obté un bon ajust lineal. Mitjançant aquesta gràfica o equació és possible preveure el grau de depuració corresponent a un aigua de naturalesa similar, encara que variïn en un interval limitat les seves característiques.

A la Fig. 8 es representen la velocitat de producció de gas i metà front a la càrrega volumètrica eliminada i els ajusts obtinguts.

Es poden utilitzar conjuntament les gràfiques 7 i 8 per a conèixer la velocitat de producció de gas i metà a partir de la càrrega orgànica

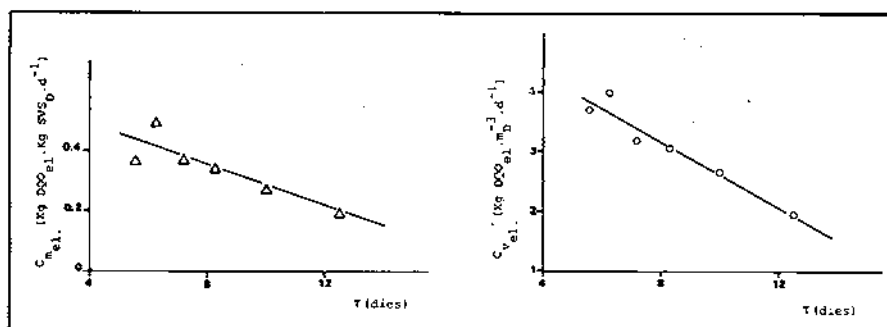


Figura 6. Variació de les càrregues volumètriques i massiques amb el temps de retenció.

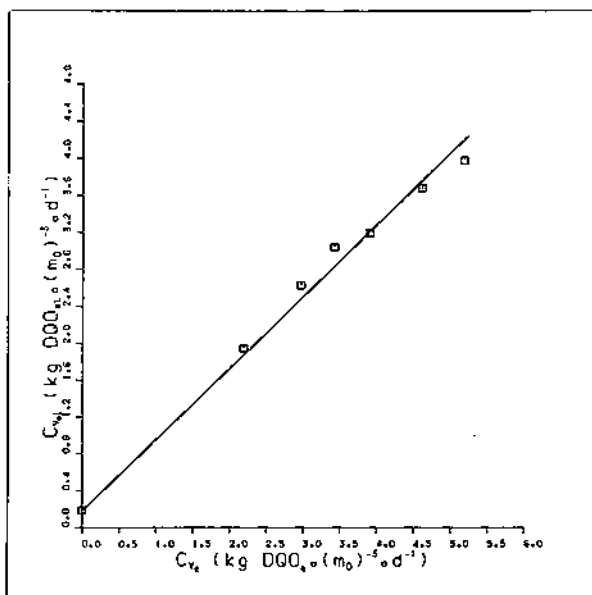


Figura 7. Variació de la càrrega volumètrica eliminada amb la càrrega volumètrica d'entrada.

subministrada, sempre tenint en compte que les conclusions només són vàlides per a l'interval del temps de residència estudiat.

b) Potencial metanogen del residu

Una característica important d'un residu que va a ésser tractat per digestió anaeròbia és el seu potencial metanogen.

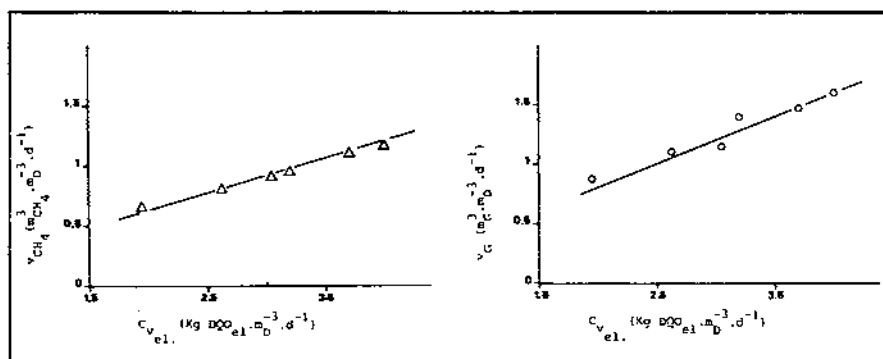


Figura 8. Variació de la producció diària de biogàs i metà per unitat de volum de digester amb la càrrega volumètrica eliminada.

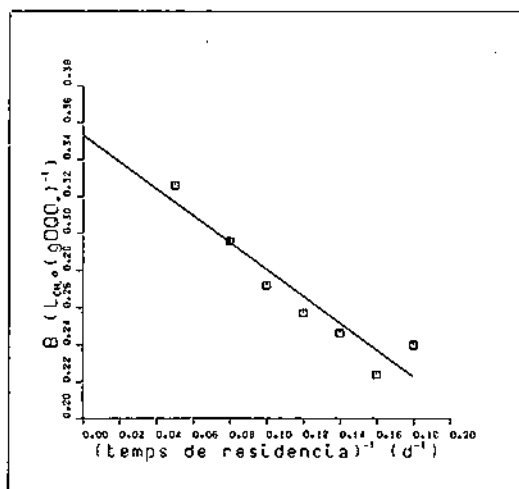


Figura 9. Variació del volum de metà produït per gram de DQO d'entrada amb la inversa del temps de retenció.

Aplicant al nostre sistema un model cinètic proposat per Chen i Hashimoto, a partir dels valors dels paràmetres seguits es pot representar el volum de metà per gram de DQO d'entrada front a la inversa del temps de residència (Fig. 9). Els paràmetres s'ajusten a una recta i segons aquest ajust s'obté un valor de l'ordenada a l'origen de $B_0 = 0,353 \text{ [CH}_4 \cdot \text{g}^{-1}\text{DQO}_c$ que representa el volum de metà que s'obté a temps de residència infinit, és a dir, el potencial metanogen del substrat. Aquest valor està molt pròxim al de 0,350 utilitzat àmpliament a la bibliografia.

Bibliografia

- VAN DEN BERG, L. et al. «Performance and stability of the anaerobic contact process as affected by waste composition, inoculation and solids retention time». Proc. 35 rd. Ind. Waste Conf. Purdue Univ. (USA) 1980.
- ANDERSON, G.K. et al. *Trib. Cebedeau* 456 (34), 459, 1981.
- MCCARTHY, P.L. *Public Works* 95, 123, 1964.
- KOTZE, J.P. et al. *Water Res.* 3 (7), 459, 1969.
- MCCARTHY, P.L. *Public Works* 95, 91, 1964.
- KUGELMAN, I.J. et al. *Adv. Chem. Series* 105, 1971.
- STAFFORD, D.A. *Biomass* 2, 43, 1982.