

LA DIGESTIÓ ANAERÒBIA APLICADA A LA DEPURACIÓ DE PURINS DE PORC

per

J. M. PARÍS, C. SOLA, M. CAMPRUBÍ I C. CASAS

Departament de Química Tècnica. Universitat Autònoma de Barcelona
Bellaterra (Barcelona)

Introducció

Fins als anys 60 l'activitat ramadera ha tingut poca influència sobre el medi ambient a causa del caràcter extensiu de les explotacions ramaderes, ja que, en existir una relació tancada entre el nombre d'animals i el terreny de conreu, les dejeccions podien ésser íntegrament utilitzades com a adob. La substitució creixent de les granges de tipus familiar per explotacions intensesives ha concentrat una elevada quantitat de bestiar en espais reduïts amb un limitat o nul terreny de conreu, la qual cosa ha originat un gran volum de dejeccions que ha provocat el deteriorament del medi ambient.

D'acord amb un cens del bestiar porcí publicat al 1982 pel «Ministerio de Agricultura»,¹ hom comprova que, aquell any, el 84 % dels animals eren en explotacions intensesives. Emprant les dades d'aquesta enquesta i emprant volums diaris mitjans excretats,² hom ha estimat en 85 milions de litres el total de purins excretats diàriament a l'estat espanyol, 30 milions dels quals corresponen a Catalunya.

De les diverses tècniques emprades per al tractament dels residus orgànics i a causa de l'augment del cost de l'energia, la digestió anaeròbia s'està imposant enfront dels altres processos. En aquest, la matèria orgànica contaminant és convertida microbiològicament, en absència d'oxigen, en metà i diòxid de carboni. D'aquesta forma, a més d'eliminar la matèria orgànica contaminant, es produeix un biogàs amb un potencial energètic elevat.

En aquest treball hom descriu breument alguns resultats obtinguts, tant a escala de laboratori com industrial, en aplicar aquest procés al tractament dels purins d'una granja de porcs de Caldes de Montbui.

1. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. *Encuesta de explotaciones de ganado porcino*. Setembre de 1982.

2. GRUNDEY, K. *Tratamiento de los residuos agrícolas y ganaderos*. Editorial Gea, Barcelona 1982.

Taula 1
 CARACTERÍSTIQUES DE LES DILUCIONS DE PURÍ
 DE 40 I 80 g.l⁻¹

	40 g.l ⁻¹	80 g.l ⁻¹
Sòlids totals (g.l ⁻¹)	39,85	79,50
Sòlids volàtils (g.l ⁻¹)	29,10	59,30
DQO total (mg.l ⁻¹)	31.000	64.500
DQO soluble (mg.l ⁻¹)	7.800	15.300
pH	7,60	7,50
Nitrogen amoniacal (mg N.l ⁻¹)	730	1.640
Àcids grassos volàtils:		
acètic	1.750	3.760
propioníc	620	1.100
n-butíric	440	860
i-valèric	230	490

Taula 2
 EXPERIMENTS DUTS A TERME

ST al substrat (g.l ⁻¹)	Temps de retenció (dies)	Càrrega orgànica (kg SV.m ⁻³ .d ⁻¹)
40	78	0,38
40	36	0,87
40	20	1,33
40	12	2,54
40	10	3,00
40	8	3,90
80	40	1,48
80	20	2,96
80	12	5,21

Influència de la càrrega orgànica sobre la producció de biogàs

Aquest estudi ha estat dut a terme en una bateria de digestors de laboratori. Cada digestor tenia un volum útil d'1,8 litres, era operat en semicontinu, la seva temperatura era mantinguda a 37 °C i el seu contingut era homogeneïtzat intermitentment mitjançant agitadors magnètics temporitzats.

El purí estudiat procedia de garrins i porcs d'engreix i, després d'ésser homogeneïtzat, era diluït amb aigua per tal de tenir un contingut mitjà en sòlids totals (ST) de l'ordre de 40 i 80 g.l⁻¹. Les característiques més importants d'aquestes dissolucions són resumides a la taula 1.

Els mètodes analítics emprats per a la determinació de la demanda química d'oxigen (DQO) i el contingut en ST i en sòlids volàtils (SV) del substrat i de l'efluent han estat els descrits a Standard Methods.³ L'anàlisi dels àcids grassos volàtils (AGV), que incloïa els àcids acètic, propiònic, butíric, iso- i n-valèric, ha estat feta per cromatografia de gasos sobre el sobrenedant d'una mostra centrifugada a 13.500 g durant 35 minuts. El nitrogen amoniacal ha estat determinat mitjançant un elèctrode específic. Finalment, el contingut del biogàs en CH₄ i CO₂ ha estat determinat per cromatografia de gasos.

La posada en marxa de tots quatre digestors fou duta a terme inoculant-los amb llots aclimatats a elevades concentracions de nitrogen amoniacal i amb llots anaerobis procedents d'una planta convencional de tractament d'aigües residuals urbanes. D'acord amb experiències prèvies,⁴ la càrrega orgànica aplicada a cada digestor fou augmentada lentament i progressiva per tal de no provocar la desestabilització del digestor, detectada per l'acumulació d'AGV al digestor. Aquest augment de càrrega fou realitzat per disminució del temps de retenció o per augment de la concentració en ST de l'influent (o ambdues coses simultàniament), fins a assolir els valors desitjats, segons allò establert a la taula 2 i amb la finalitat de determinar la seva influència sobre la productivitat volumètrica de metà (Pv, en m³CH₄·m⁻³·d⁻¹) i el rendiment del procés (R, en m³CH₄·(kg SVadd)⁻¹).

Els resultats obtinguts han posat de manifest que el mètode de posada en marxa aplicat permet el funcionament en condicions estables dels digestors en el rang estudiat de càrregues orgàniques. La fig. 1 mostra l'efecte de la càrrega sobre la productivitat. Hom hi pot observar que per al substrat que conté 40 g.l⁻¹, aplicant una càrrega entre 0,38 i 3 kg SV·m⁻³·d⁻¹, Pv augmenta linealment amb la càrrega des de 0,09 fins a 0,77 m³CH₄·m⁻³·d⁻¹, mentre que un augment de la càrrega des de 3 fins a 3,9 no suposa un increment en la producció de gas. D'altra

3. American Public Health Association. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 15 ed., Washington 1980.

4. CAMPRUBÍ, M.; PARÍS, J. M. i CASAS, C. *Digestión anaerobia de purines de cerdo: estudio de la puesta en marcha*. Proc. «XX Reunión Bienal de la R.S.E.Q.», Castelló 1984.

banda, per al substrat més concentrat en ST, la productivitat augmenta des de 0,41 fins a 1,35 en incrementar la càrrega des d'1,5 fins a 5,2; hom observa una disminució de la relació productivitat/càrrega a partir d'un valor d'aquesta de 3 kg SV.m⁻³.d⁻¹.

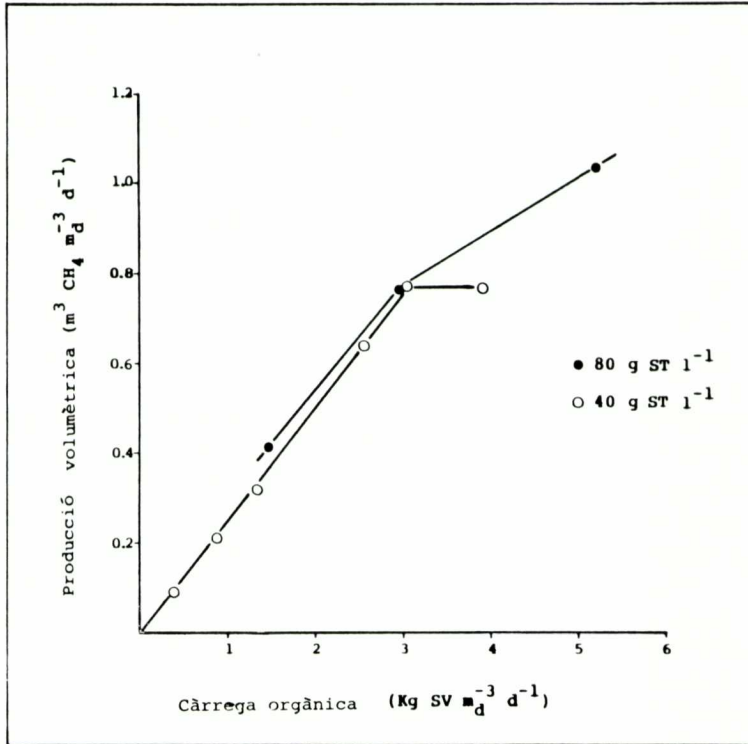


Fig. 1. - Efecte de la càrrega orgànica sobre la productivitat de metà.

La fig. 2 mostra la productivitat de biogàs en funció del temps de retenció estudiat. Hom observa que, per a un determinat temps de retenció, la productivitat és més elevada per al substrat més concentrat. Hom pot veure igualment que reduint el temps de retenció de 10 a 8 dies, tot mantenint la concentració de l'influent en 40 g.l⁻¹, no millora el valor de Pv. Aquestes conclusions són semblants a les presentades a la bibliografia.^{5, 6}

La diferència important entre la productivitat obtinguda per a ambdós substrats a la mateixa càrrega de 3,9, tenint en compte que aquesta no augmenta en

5. CHEN, Y. R. *Kinetic Analysis of Anaerobic Digestion of Pig Manure and Its Design Implications*. Agric. Wastes, 8, 65-81 (1983).

6. HILL, D. T. *Design Parameters and Operating Characteristics of Animal Waste Anaerobic Digestion Systems - Swine and Poultry*. Agric. Wastes, 5, 157-178 (1983).

passar de 3 a 3,9 amb el substrat més diluït i que correspon a reduir el temps de retenció de 10 a 8 dies, porta a la conclusió que aquests valors estan propers als límits marcats per al sistema pel rentatge de la biomassa metanògena del digestor.

A la figura 3 es mostra la variació del rendiment del procés. Hom hi pot veure que per al substrat amb 40 g ST.l⁻¹ el rendiment augmenta lleugerament entre 0,237 i 0,252 m³CH₄. (kg SVadd)⁻¹. A la gràfica, però, ha estat traçada una línia recta en aquest rang perquè es considera que la desviació respecte del valor mitjà de 0,245 és molt petita i deguda segurament a l'error experimental.

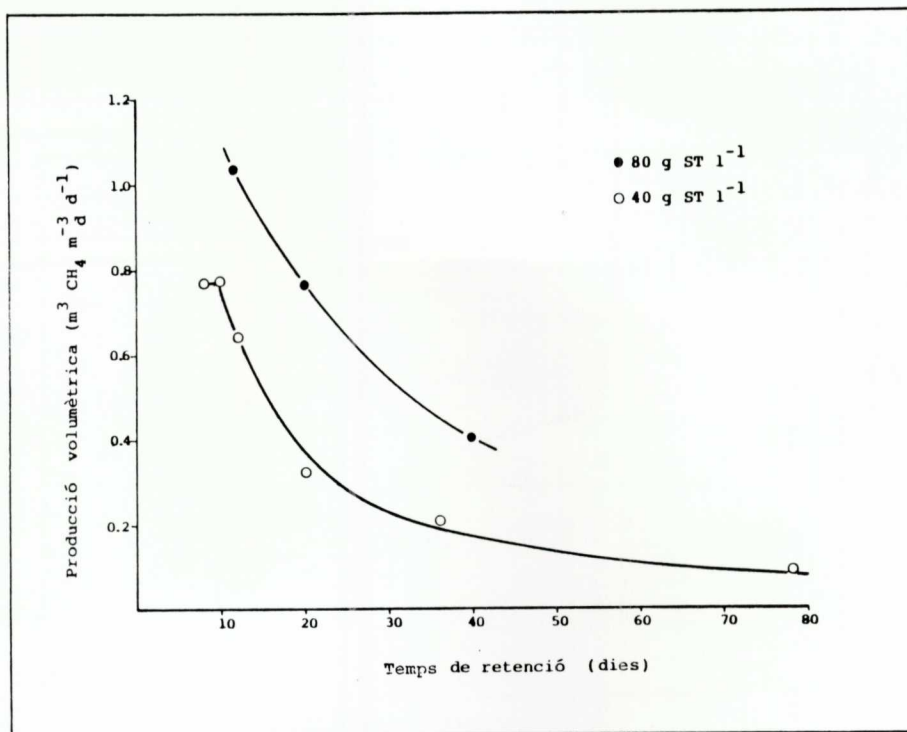


Fig. 2. - Influència del temps de retenció sobre la productivitat de metà.

El rendiment disminueix fins a 0,198 per a una càrrega de 3,9. Si el substrat conté 80 g.l⁻¹, el rendiment disminueix des de 0,274 fins a 0,198 en augmentar la càrrega des d'1,5 fins a 5,2. Aquests valors són igualment comparables als obtinguts per VAN VELSEN⁷ en un rang de càrregues similar però treballant amb dilucions de purí diferents.

7. VAN VELSEN, A. F. M. *Anaerobic Digestion of Piggery Wastes*. Tesi Doctoral. Agricultural University, Wageningen (Holanda), 1981.

Estudis en reactors d'alta velocitat

El fet que la velocitat de diluïció dels microorganismes als sistemes convencionals de tanc agitat, determinada per llur velocitat de generació, fixi el temps de retenció hidràulic (TRH) mínim a què pot treballar el digestor, aconsella de desenvolupar nous sistemes amb biomassa fixada que permeten de treballar a baixos TRH (de l'ordre d'hores) i, per tant, d'aplicar càrregues orgàniques elevades amb efluents diluïts. D'aquesta manera hom pot augmentar la productivitat volumètrica dels reactors, així com (normalment) llur eficàcia de depuració. Tanmateix, aquests sistemes tenen el desavantatge que no permeten de tractar aigües residuals amb concentracions apreciables de sòlids en suspensió, la qual cosa fa que, en dissenyar un sistema de tractament anaerobi amb aquests tipus de reactors, calgui preveure d'incloure-hi una etapa prèvia de decantació.

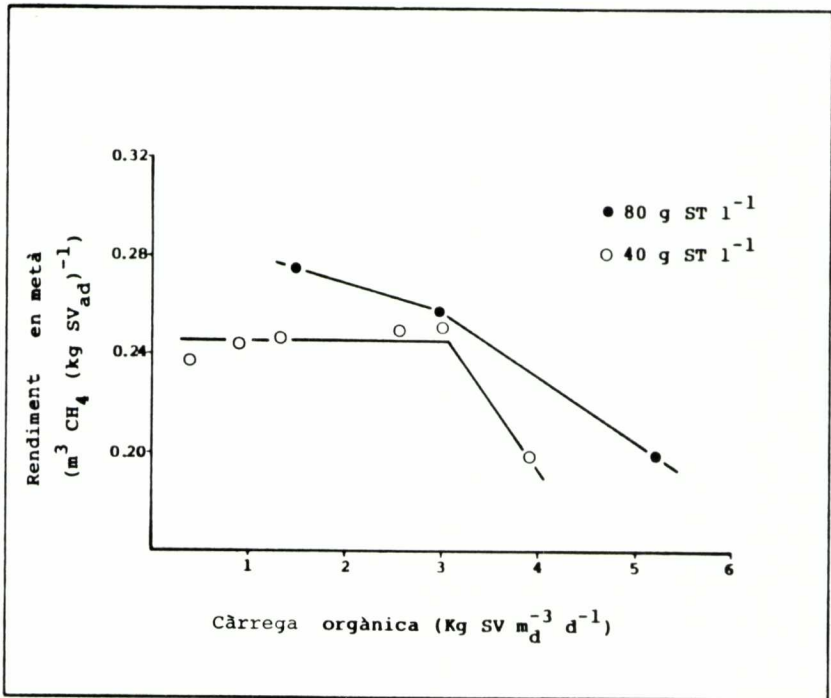


Fig. 3. - Efecte de la càrrega orgànica sobre el rendiment en metà.

D'entre aquests reactors d'alta velocitat, destaquen el filtre anaerobi i el reactor anaerobi de llit expandit. Ambdós contenen un suport inert que permet la fixació (i per tant la retenció) de la biomassa anaeròbia a l'interior del reactor i estan essent experimentats al nostre laboratori emprant com a aigua residual

a tractar la fracció líquida dels purins de porc, és a dir purins, prèviament decantats.

Fins al moment, al filtre anaerobi ha estat assajat un nou mètode de posada en marxa consistent a afegir metanol a l'aliment, la qual cosa accelera la formació de la biopel·lícula metanògena. Una primera avaluació ha manifestat que per a una càrrega de 4 kg DQO. $\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ hom aconsegueix una productivitat de 2 $\text{m}^3\text{gas}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ (és a dir, més de dues vegades superior a la corresponent al sistema convencional) i una eficàcia de depuració superior al 75 % de reducció de la DQO.

El reactor anaerobi de llit expandit estudiat utilitza escuma de poliuretà com a material inert de suport per a la formació de la pel·lícula. Aquest material, ressenyat a la bibliografia com a molt addient, és relativament barat, la qual cosa indica que podria ésser utilitzat en condicions avantatjoses per al disseny de processos anaerobis a escala industrial. En efecte, resultats inicials no publicats han mostrat que amb aquest reactor hom pot tractar purins decantats amb una càrrega orgànica de fins a 180 kg. DQO. $\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ sense que es produeixi la desestabilització del digestor, i que és molt superior a qualsevol altra càrrega esmentada fins ara a la bibliografia, amb què hom aconsegueix una productivitat d'uns 12 $\text{m}^3\text{gas}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ (sis vegades superior a la corresponent al filtre anaerobi i amb la mateixa eficàcia de depuració).

Posada en marxa d'una planta pilot

Ha estat posada a punt una planta pilot per al tractament anaerobi de la fracció líquida dels purins de porc. Consisteix bàsicament, tal i com es mostra a la fig. 4, en un filtre anaerobi de 2 m^3 de capacitat útil. El reblliment és de material plàstic, tipus Flocor, i disposa dels corresponents dispositius d'alimentació, recirculació, preescalfament de l'aliment i de la recirculació mitjançant un bescanviador de calor de doble tub i carcassa, mesurament del cabal de gas i líquid, preses de mostra, etc. Disposa, igualment, d'un separador estàtic de sòlids, alimentat amb purins procedents d'una pre-fossa, que permet d'alimentar al reactor únicament la fracció líquida del residu, tot evitant els problemes de reblliment que, en cas contrari, es podrien presentar. Aquesta planta pilot està instal·lada en una granja de porcs a Caldes de Montbui, on ja existeix una planta convencional (de la que es parlarà després) i de la que aprofiten els serveis (aigua calenta, emmagatzemament del gas, etc.).

En el moment de presentar aquesta comunicació la planta es troba en la fase de posada en marxa. Per això, després de la seva construcció i de dutes a terme les corresponents proves hidràuliques, allò que s'ha fet ha estat omplir el reactor amb llots anaerobis procedents de la planta convencional seguint el camí de l'alimentació al reactor. Així, doncs, després d'inoculat el reactor, s'ha

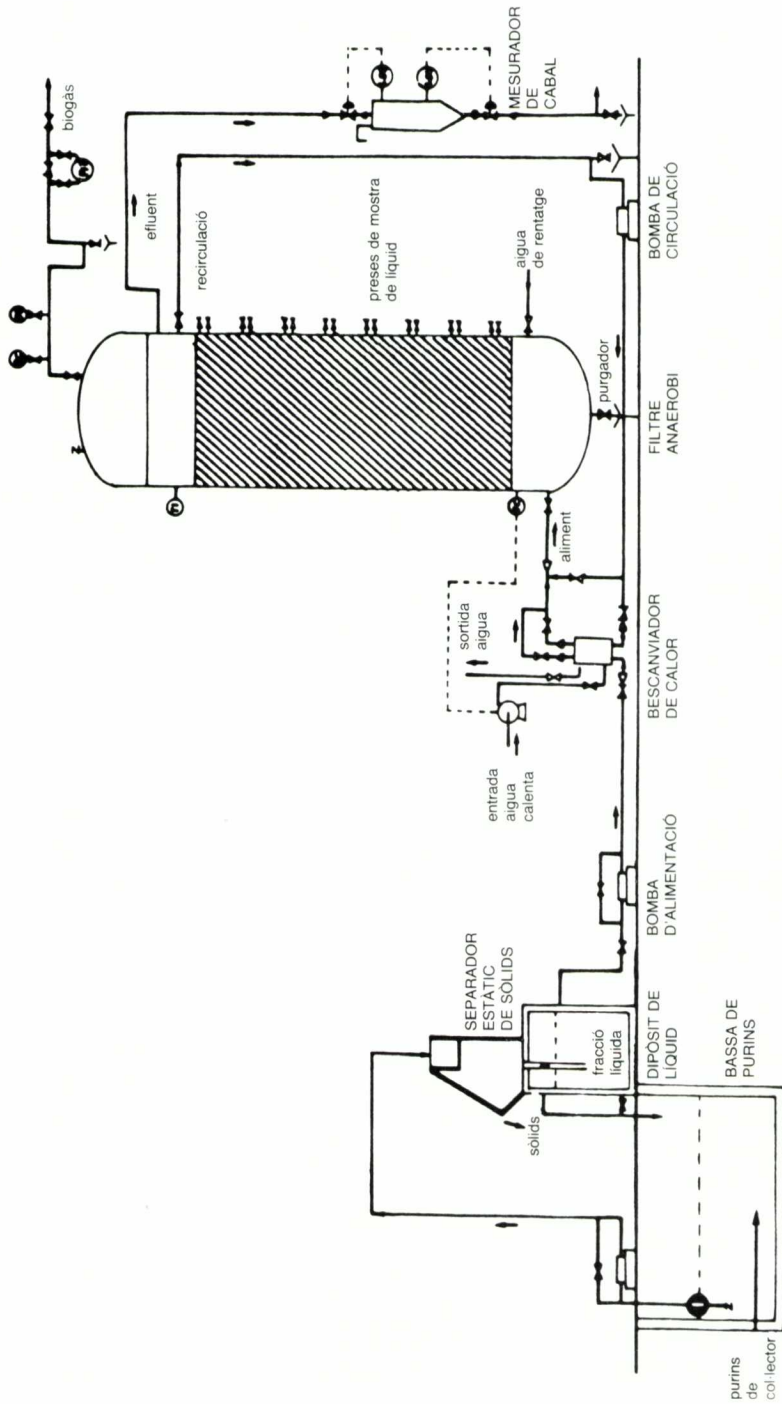


Fig. 4. - Esquema de la planta pilot.

esperat que es produís gas degut a l'activitat romanent dels llots i a continuació ha estat reproduït el protocol de posada en marxa assajat prèviament al laboratori i que s'ha descrit abans, considerant que aquest període de posada en marxa finalitzarà en el moment que hom hi apliqui una càrrega de $4 \text{ kg DQO} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$, entrant-hi únicament purí (sense metanol), moment en el qual hom procedirà a avaluar el rendiment del digestor. Posteriorment, serà duta a terme la resta del pla de treball previst, que inclou l'avaluació del rendiment i eficàcia de depuració de la planta per a diverses càrregues orgàniques, la influència de la relació de recirculació, etc., així com l'obtenció de la informació necessària per al disseny i construcció d'aquests tipus d'instal·lacions a escala industrial (pèrdua de càrrega, perfils de degradació i temperatura al llarg del reactor, possibilitat d'obstruccions, etc.)

Posada en marxa i primers resultats d'una planta integrada de digestió anaeròbia amb cogeneració

Es tracta d'una planta convencional de tanc agitat instal·lada en una granja de Caldes de Montbui. Aquesta explotació ramadera té uns 1.700 animals i

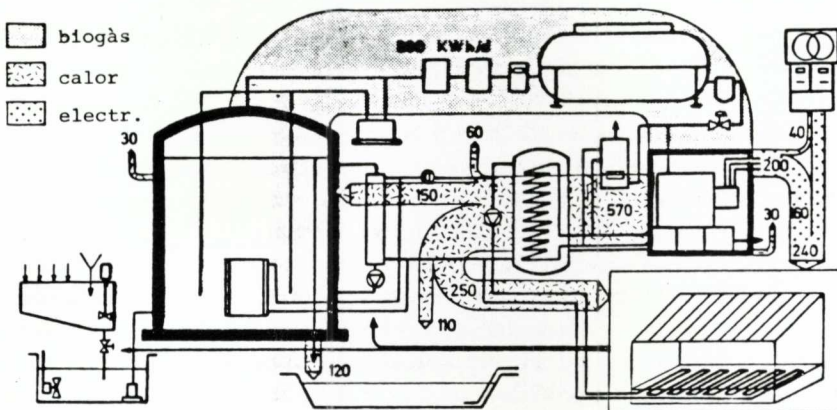


Fig. 5. - Diagrames de flux i energètic de la planta convencional de depuració anaeròbia de purins de porc.

un consum energètic entre 4.000 i 10.500 kwh/mes. Aquesta instal·lació fou dissenyada com una operació de demostració d'una planta d'aprofitament integral de l'energia produïda en digerir per via anaeròbia una part dels residus produïts a la granja.

Com es pot veure a la figura 5, on s'esquemmatitza simultàniament el dia-

grama de flux i energètic de la planta,⁸ aquesta consta d'una fossa de recepció dels purins procedents de les naus d'engreix amb una capacitat de 34 m³, un digestor de 100 m³ de capacitat útil (5 m de diàmetre per 6 m d'alçada), una bassa d'efluent de 140 m³, un gasòmetre de 60 m³ i un equip de cogeneració. L'agitació del reactor pot ésser duta a terme indistintament per recirculació externa dels purins o per borbolleig de gas. La temperatura del digestor es manté a uns 30 °C per recirculació d'aigua calenta a través d'un bescanviador de calor extern o d'un serpenti intern. L'alimentació és duta a terme d'una forma semicontínua mitjançant una bomba submergida a la fossa que està temporitzada i que permet d'alimentar el cabal de purí desitjat, d'una forma repartida al llarg del dia. L'equip de cogeneració és format per un motor TOTEM-FIAT que pot consumir 8 m³.h⁻¹ de biogàs tot produint uns 13 kwh d'electricitat i unes 32.000 kcal.h⁻¹ en forma d'aigua calenta, la qual cosa suposa la recuperació de més d'un 95 % de l'energia potencial dels residus. L'aigua calenta produïda és emmagatzemada en un acumulador de 8 m³ i utilitzada per a l'escalfament del digestor i, a més, per a la calefacció de les naus mitjançant una instal·lació de sol radiant.

La planta fou posada en marxa el novembre de 1983 omplint el digestor amb 20 m³ de llots anaerobis procedents d'una planta semblant de digestió de purins de porc. A continuació fou acabat d'omplir el digestor amb aigua i hom el posà en marxa d'acord amb experiències prèvies,⁴ és a dir, augmentant lentament i progressiva la càrrega i considerant l'acumulació d'àcids grassos volàtils un índex de desestabilització del digestor de forma que en cap cas la concentració d'àcid propiònic no superés els 200 mg.l⁻¹. Al cap de tres mesos fou assolida l'operació de disseny en condicions estables, és a dir un TRH de 20 dies, amb produccions de biogàs superiors als 100 m³ diaris i mantenint una temperatura als voltants dels 34 °C, un pH de 8 i unes concentracions d'àcids acètic i propiònic menors de 400 i 100 mg.l⁻¹, respectivament.

Com a resum i a l'espera d'avaluacions posteriors i per a períodes més llargs, ha estat constatat que en un període d'operació estable de cinc mesos, la planta ha produït uns 16.000 m³ de gas amb un contingut en metà entre el 66 i el 77 %, que han estat convertits pel sistema de cogeneració en un 90 %, tot fornint 22.500 kwh d'electricitat i 50.000 tèrmies d'aigua calenta. La planta ha consumit el 22,7 de l'electricitat (5.000 kwh) i el 20 % de l'aigua calenta (10.000 Te), mentre que la resta d'aquesta (40.000 Te) ha estat aprofitada per a la granja, així com un 56,8 de l'electricitat produïda (12.500 kwh). Els excedents d'aquesta han estat cedits a la companyia fornidora de fluid elèctric.⁹

8. BOU, J. i VALLE, F. *Methane Production by Anaerobic Digestion of Piggery Wastes. II. Experimental Results of the Start-Up of a Plant with a 100-m³ Digester*. Proc. 3rd Medit. Congress on Chem. Eng., p. 182-183. Barcelona 1984.

9. VALLE, F. i BOU, J. *Comunicació personal*.

Pel que fa a la depuració obtinguda, hom ha observat que la reducció mitjana en sòlids totals als purins digerits ha estat del 57 % (67 % per als sòlids volàtils). La reducció de la demanda química d'oxigen ha estat del 52 % (77 % per a la DQO dels purins decantats).

AGRAÏMENT

Agraïm a Catalana de Gas i Electricitat d'haver subvencionat en part els treballs previs de digestió de purins i d'haver permès la publicació de les dades referents a la seva planta de Caldes.