

TREBALL FI DE CARRERA

DISSENY GENÈRIC D'UNA
PLANTA D'APROFITAMENT
ENERGÈTIC A PARTIR DE
PURINS AMB UN TRACTAMENT
INDIVIDUALITZAT A LA
COMARCA D'OSONA

MEMÒRIA DESCRIPTIVA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Escola Universitària Politècnica de Manresa

Nom: Montse Serra i Vilella

Branca: Enginyeria Tècnica Industrial

Especialitat: Química

Curs: juny 2004

Professora Tutora: Imma Torra i Bitlloch

TREBALL FI DE CARRERA

DISSENY GENÈRIC D'UNA
PLANTA D'APROFITAMENT
ENERGÈTIC A PARTIR DE
PURINS AMB UN TRACTAMENT
INDIVIDUALITZAT A LA
COMARCA D'OSONA

ANNEX I. PLÀNOLS

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Escola Universitària Politècnica de Manresa

Nom: Montse Serra i Vilella

Branca: Enginyeria Tècnica Industrial

Especialitat: Química

Curs: juny 2004

Professora Tutora: Imma Torra i Bitlloch

Índex

Introducció	1
1- Antecedents	
1.1- La digestió anaeròbia	6
1.1.1- Definició de la digestió anaeròbia	6
1.1.2- Història de la digestió anaeròbia	7
1.1.3- Nombre d'instal·lacions de digestió anaeròbia	9
1.2- El problema de l'energia dels combustibles fòssils	10
1.2.1- Solucions al problema	10
1.2.2- Aprofitament de la matèria orgànica	11
1.2.3- Tractament dels residus ramaders	12
1.3- Productes de la digestió anaeròbia	14
1.3.1- El biogàs	14
1.3.1.1- Efecte fisiològic	16
1.3.1.2- Utilització	18
1.3.1.3- Venda de gas	21
1.3.1.4- Transformació energètica del biogàs	22
1.3.2- L'efluent de la digestió anaeròbia	25
1.4- Etapes de la digestió anaeròbia	28
1.4.1- Condicions de funcionament	30
1.4.1.1- Paràmetres ambientals	30
1.4.1.2- Paràmetres operacionals	33
1.5- Tipus de digestors	37
1.5.1- Digestors convencionals	37
1.5.2- Digestors d'alta velocitat	38
1.5.3- Digestors més utilitzats	38
1.5.4- Característiques generals dels digestors	47
1.5.4.1- Selecció del digestor pel projecte	48
1.5.4.2- Indicadors útils en el seguiment d'un digestor	49
2- Els purins i la seva problemàtica a la comarca d'Osona	
2.1- Característiques dels purins i tractaments	52
2.1.1- Residus ramaders	52

2.1.1.1-	Tipus de residus ramaders	53
2.1.1.2-	Característiques dels residus ramaders	56
2.1.2-	Característiques dels purins	58
2.1.2.1-	Composició dels purins	60
2.1.3-	Tipus de tractaments dels purins	61
2.1.3.1-	Classificació dels tractaments	65
2.1.3.1.1-	Pre-tractaments	67
2.1.3.1.2-	Tractaments	68
2.1.3.1.3-	Post-tractaments	70
2.1.3.1.4-	Tractaments integrals	70
2.1.4-	Normativa sobre residus ramaders	71
2.1.5-	Tipus d' explotacions porcínes	76
2.2-	Característiques de la comarca d'Osona	78
2.2.1-	Activitat agrícola i ramadera a Osona	80
2.2.2-	Gestió dels residus ramaders de la comarca	82
2.2.2.1-	Els plans de gestió de dejeccions ramaderes	82
2.2.2.2-	Cens i capacitat ramadera actual	85
2.2.2.3-	Producció de dejeccions	87
2.2.2.4-	Superfície Agrària Útil (SAU) comarcal	88
2.2.2.5-	Destinació de les dejeccions ramaderes	89
2.2.2.6-	Balanços de nitrogen de la comarca d'Osona	91
2.2.2.6.1-	Factors que intervenen en l'excident	94
2.3-	La problemàtica dels purins a la comarca	99
2.3.1-	La problemàtica generada	99
2.3.2-	Conseqüències de l'excés de purins	100
2.3.3-	Efectes sobre el medi ambient i la salut	101
3-	Procés de tractament de purins en una explotació porcína	
3.1-	El procés industrial. Diagrama de flux	104
3.2-	Recepció de la matèria primera	106
3.2.1-	Característiques constructives de les fosses	107
3.2.2-	Buidatge	108
3.3-	Preparació de la matèria primera	110
3.3.1-	Separació sòlid-líquid	111
3.3.2-	Agitació	113

3.3.3-	Homogeneïtzació	114
3.3.4-	Calefacció del digestor	114
3.4-	Emmagatzematge del biogàs	115
3.5-	Paràmetres de les operacions i control del procés	117
4-	Disseny de la planta	
4.1-	Criteris de disseny	118
4.1.1-	Descripció de l'exploració porcina	118
4.1.2-	Qualitat/quantitat de la fracció orgànica	119
4.1.3-	Qualitat del purí digerit	119
4.1.4-	Flexibilitat a canvis de quantitat	120
4.1.5-	Nivells d'impacte ambiental	121
4.2-	Estructuració	123
4.2.1-	Descripció dels fluxos de matèria	123
4.2.2-	Distribució de l'espai de treball	124
4.3-	Enginyeria del procés de digestió anaeròbia	125
4.3.1-	Necessitats energètiques i valorització de l'energia	125
4.3.1.1-	Necessitats energètiques de l'exploració porcina	125
4.3.1.2-	Valorització de l'energia	126
4.3.2-	Dimensions i disseny del digestor	128
4.3.3-	Producció estimada de biogàs	131
4.4-	Enginyeria de les obres i instal·lacions	132
4.4.1-	Emplaçament	132
4.4.2-	Cobert	133
4.4.3-	Fosses de recepció i emmagatzematge	134
4.4.4-	Digestors	135
4.4.5-	Instal·lacions	136
4.4.5.1-	Circuit de les dejeccions	136
4.4.5.2-	Circuit de calefacció dels digestors	137
4.4.5.3-	Circuit de biogàs	139
4.4.5.4-	Circuit elèctric	141
4.5-	Pressupost	142
4.5.1-	Caracterització de les conseqüències econòmiques	143
4.6-	Plànols	145

5- Valoració de la proposta del projecte	
5.1- Objectiu de la proposta	146
5.2- Problema medioambiental dels purins	148
5.3- Proposta d'un pla de gestió per una explotació porcina	150
5.3.1- Procediment a seguir	150
5.3.2- Factors que s'inclouen en el pla de gestió	152
5.3.3- Passos a seguir	153
5.3.4- Manual de control	155
5.4- Sistemes per reduir el volum de purins	158
5.5- Reducció del nitrogen, fòsfor i elements minerals	162
5.5.1- Reducció del nitrogen	162
5.5.2- Reducció del fòsfor	164
5.5.3- Reducció d'altres elements minerals	164
5.6- Informació necessària pel desenvolupament del pla	165
5.6.1- Gestió de les dejeccions ramaderes i del transport	167
5.6.2- Orientacions tècniques sobre la gestió i aplicació dels purins ...	168
5.7- L'agricultura i la fertilització amb purins	170
5.7.1- Valor fertilitzant	170
5.7.2- Aportacions dels purins de porc	171
5.7.3- Aplicació agrícola dels purins digerits	173
5.8- Beneficis de la proposta	176
6- Conclusions	178
7- Bibliografia	180

Annex I- Plànols

Introducció

A Catalunya, el sector ramader ha patit en els darrers anys una reestructuració molt important i ha abocat al sector a grans canvis. Així doncs, s'ha passat d'explotacions familiars on la producció agrícola i ramadera eren dues activitats complementàries, a una progressiva industrialització del sector, especialment en el porcí. L'explotació ramadera s'ha deslligat progressivament de l'explotació agrícola essent cada cop més nombroses les granges que no disposen de la base territorial suficient per reutilitzar els fems i purins produïts.

Alguns països com Holanda o Alemanya, amb una normativa de medi ambient molt més estricta que la nostra, han trobat a les nostres comarques un lloc perfecte per poder mantenir les seves produccions de carn sense haver de patir les conseqüències de la gran quantitat de residus que el bestiar porcí genera.

En algunes comarques del nostre país com Osona, el Segrià, l'Alt Urgell i el Pla de l'Estany, en són un clar exemple. La gran quantitat de cabana porcina (en part procedent dels països esmentats) ha portat com a conseqüència un excés de purins (residus ramaders) que el subsòl no pot absorbir i que, per tant, es filtra als aqüífers, contaminant fonts, rius, rieres i rierols amb unes dosis de nitrats molt elevades i perjudicials per a la salut.

El nitrogen (en forma líquida) del purí que no pot absorbir el conreu d'un sòl es transforma en nitrats i nitrits a partir d'un procés d'oxidació. Aquests són molt solubles en aigua, són arrossegats per la pluja cap a aqüífers subterranis contaminant-los, de manera que el consum d'aquestes aigües esdevé perillós per a la salut pública, podent provocar la metahemoglobinèmia (el ferro de l'hemoglobina és incapaç de transportar oxigen) especialment en els infants. El consum d'aigua amb nivells alts de nitrats també constitueix un factor de risc alhora de contraure càncer gàstric. Les aigües superficials tampoc estan lliures dels efectes de sobreaplicació de purins al sòl, i es poden contaminar en molts casos a causa de l'escorrentia, fins arribar a donar l'eutrofització de les mateixes.

Per últim, l'aplicació incorrecte de purins en el sòl agrícola pot portar problemes greus sobre els cultius. Aquests poden ser causats per múltiples efectes, com per exemple l'acumulació de metalls pesats al sòl, o bé l'alteració de les poblacions microbianes d'aquest, degut a que un excés de purins al sòl desencadena una activitat degradativa de la matèria orgànica que aquests contenen. Això provoca un consum de la majoria d'oxigen disponible del sòl, i produeix una variació considerable de les condicions d'aquest, afectant als vegetals i a la biòtica del sòl.

Per minimitzar aquests efectes produïts pels purins, cal trobar un sistema de tractament que mediambientalment sigui correcte i alhora econòmicament sostenible, sobretot en considerar que la millor opció de tractament, que és el sòl agrícola, en moltes regions ja s'ha sobrepassat per falta d'aquest. Així doncs, una opció seria aplicar un tractament igual al tractament de les aigües residuals (urbanes o industrials), intentant obtenir per un costat aigua més o menys neta i per altre llots, els quals ja siguin dessecats o bé compostats, siguin fàcilment transportables a altres zones deficitàries d'adobs orgànics. Aquesta opció mediambientalment és correcte però econòmicament és normalment poc viable.

Per tant, cal pensar en tecnologies alternatives o complementàries que donin viabilitat al tractament. Una d'elles és la digestió anaeròbia amb obtenció de biogàs, que és la que es tracta en aquest projecte. Aquest procés ens permetrà reduir la càrrega contaminant del purí, i alhora el biogàs que genera permetrà utilitzar-lo energèticament per reduir el cost del tractament.

Els efectes de la digestió anaeròbia sobre el purí porcí són ja més o menys coneguts. S'obté com a productes el biogàs i un efluent. El biogàs és fàcilment transformable en energia tèrmica i elèctrica, mentre que l'efluent, convenientment processat amb una decantació, per exemple, permet obtenir un efluent de tractament amb una càrrega contaminant relativament baixa, i un llot normalment apte per l'ús agrícola o el compostatge.

En algunes comarques on el problema dels purins és tan greu com a la comarca d'Osona es plantegen la possibilitat de fer una central elèctrica a partir dels purins. Malgrat que potser és la solució ideal (ja que es podria aprofitar el metà i els altres continguts combustibles que hi ha en els purins) té l'inconvenient del seu alt cost, ja que la construcció d'una planta d'aquest tipus suposaria una inversió multimilionària que sembla difícil que es faci.

La solució adoptada a Osona es queda a mig camí. Les plantes de "tractament" de purins (la de les Masies de Voltregà ja està en funcionament) bàsicament el que fan és evaporar la fracció líquida en purí sòlid, cosa que els fa més fàcils de transportar i de comercialitzar. Tot i així la planta encara no funciona correctament i els problemes són cada vegada més freqüents. Els tècnics però per solucions no queden i proposen la solució del sentit comú. La distribució correcta buscant l'equilibri podria ser una solució, perquè mentre en un lloc es produeix una concentració i un excés en d'altres zones és deficitària. El sentit comú, però, tampoc s'imposa.

A la comarca d'Osona és on es planteja la base d'aquest projecte. El projecte intenta proposar una alternativa al problema mencionat anteriorment, solucionar l'excés de purins (residus ramaders). La qüestió seria la següent: Enlloc de fer grans plantes de tractament i tantes inversions, per què no s'intenta construir petites plantes de tractament dins de les granges? Es podrien construir plantes de tractament senzilles, de fàcil maneig pel granger, aptes i viables. D'aquesta manera, cada granja podria tractar els purins generats. Seria l'aplicació d'un nou tractament anomenat tractament individualitzat. És una alternativa i una possible solució per intentar reduir i, en definitiva, eliminar el problema de l'excés de purins que tants problemes dona i que afecta especialment en aquesta comarca.

L'objectiu principal del projecte és dissenyar una instal·lació a petita escala pensada per aplicar-la a cada explotació porcina de la comarca d'Osona. Això sí, tenint en compte una sèrie de premisses i condicions aptes i indispensables per al seu funcionament.

El tractament es basa en la digestió anaeròbia la qual se'n poden treure dos avantatges: per una banda, el purí surt digerit la qual cosa indica que és apte com a adob i, per l'altra banda, se'n pot treure en aprofitament energètic ja que amb la digestió anaeròbia es genera biogàs i aquest es pot utilitzar tan elèctricament com tèrmicament dins de la mateixa explotació.

Econòmicament pot ser que el plantejament no sigui viable però ben segur que en un futur no molt llunyà pugui ser possible i més encara si s'acomplissin totes les condicions òptimes plantejades en el projecte. Si es realitzés una bona gestió de les explotacions porcines ben segur que el projecte es podria portar a terme.

1- Antecedents

1.1- La digestió anaeròbia

La digestió anaeròbia és un procés biològic de tractament de matèria orgànica. A continuació es descriu el procés juntament amb una revisió històrica d'aquest i les instal·lacions que hi ha a Espanya.

1.1.1- Definició de la digestió anaeròbia

La digestió anaeròbia és un procés biològic mitjançant el qual la matèria orgànica és convertida en metà i diòxid de carboni per microorganismes en absència d'aire (oxigen). A la natura la conversió anaeròbia té lloc arreu on s'acumula matèria orgànica i el subministrament d'oxigen és deficient, com en les maresmes i sediments lacustres. La formació microbiana de metà es produeix també en la digestió dels rumiants.

En les unitats de digestió, les condicions externes que actuen sobre el procés poden ser regulades per accelerar-lo en comparació amb el que es produeix a la natura. A més, el gas produït pot ser recollit i utilitzat com a combustible. Per aquest camí la digestió anaeròbia de residus ens dona un procediment per reduir la concentració de substàncies orgàniques contaminants i produir energia utilitzable. Un benefici addicional del procés és la conservació d'un compost valuós, com és el nitrogen amoniacal, especialment en els casos en que els efluent del digestor poden ser utilitzats pel rec.

Un dels objectius de la digestió anaeròbia és la producció d'energia, i l'altra objectiu, la reducció en la concentració de substàncies pol·lucionants (segons la necessitat d'eliminació de la pol·lució ambiental i de la naturalesa i origen del residu). Encara que, independentment de l'objectiu, l'aplicació d'un procés de digestió anaeròbia té una marcada influència sobre el tipus de digestor a instal·lar, així com sobre la seva operació.

El major inconvenient de la digestió anaeròbia seria la seva sensibilitat en front certs compostos com CCl_4 , CN^- , etc. Per sort, la majoria d'aquests compostos altament tòxics no es troben normalment en els residus d'origen natural i, per tant, aquests inconvenients es limiten a un nombre reduït d'aigües residuals industrials. Però, inclús llavors, es poden adoptar mesures adequades.

Un altre factor de gran importància per les perspectives i possibilitats d'una digestió anaeròbia és el disseny dels digestors. Una instal·lació extensiva i eficaç requereix:

- La disponibilitat de sistemes de digestió adaptats al tractament d'una àmplia gamma de substrats, és a dir, des d'aigües residuals diluïdes amb la matèria orgànica dissolta en la seva major part, fins a materials sòlids.
- La disponibilitat d'instal·lacions simples, barates i segures.

A més, els processos han de ser operats de tal manera que es pugui mantenir una digestió estable. Això és important sobre tot per la digestió de residus d'animals en les granges, on els costos de l'energia produïda per mitjà d'una digestió anaeròbia ha de competir amb les preus de l'energia fòssil i els digestors han de ser manipulats pels mateixos grangers.

1.1.2- Història de la digestió anaeròbia

Tot procés de digestió anaeròbia comporta paral·lelament una eliminació/depuració de la càrrega orgànica i la producció d'aquest gas. Les instal·lacions especialment dissenyades per optimitzar aquest procés es designen com “digestors de metà”, “plantes de biogàs” o simplement “reactors anaerobis”.

Aquest tipus de descomposició (anaeròbia amb producció de metà) no és més que un tipus de fermentació catalitzada per bacteris específics i de la qual es tenen primeres notícies de Volta (1776), el qual va descobrir la formació d'un gas combustible en pantans, llacs i aigües estancades, i que ho va relacionar amb la quantitat de matèria orgànica dipositada en el fons dels mateixos. No va ser fins al 1868 quan Bechamp i Pasteur van definir les reaccions com a constituents d'un procés microbiològic.

La primera instal·lació de la qual es tenen notícies es va construir a Bombai el 1859, i des de llavors a la Índia s'han promogut petites plantes, a nivell familiar o local, tractant fems de bestiar boví amb l'objectiu de produir gas per cuinar i obtenir, a la vegada, un producte fertilitzant.

A aquest nivell es troben també gran quantitat de petites instal·lacions a Taiwan, Korea, Tailàndia, Kenya, Sudàfrica i Xina, on s'han comptabilitzat de l'ordre de 7 milions de digestors en comunes i fàbriques. Aquestes instal·lacions són senzilles, sense tractament del gas produït, de manera que no es controla l'estabilitat en la producció de gas. A la vegada, cal que el gas sigui cremat en ambients oberts per evitar problemes d'asfíxia, per acumulació d'òxids de carboni o sofre.

Al 1890 Donald Cameron dissenyà una gran fossa sèptica per a la ciutat d'Exeter, a la Gran Bretanya, i amb el gas obtingut alimentà la xarxa d'enllumenat públic. Durant la Segona Guerra Mundial, molts grangers d'Anglaterra, França i Alemanya, van construir digestors per produir gas combustible i amb el mateix alimentar tractors i produir electricitat. Aquestes instal·lacions quedaren fora de servei a finals dels anys 40.

Mitjançant el procés de digestió anaeròbia es pot tractar un gran nombre de residus: agrícoles i ramaders, industrials orgànics, aigües residuals municipals i industrials, fangs d'estacions depuradores i la fracció orgànica dels residus municipals.

Al món occidental, la finalitat del procés ha seguit una evolució bastant definida. En el sector de les aigües residuals, l'objectiu ha estat l'estabilització i reducció de volum dels fangs. La introducció del concepte de plantes depuradores com a indústries així com minimitzar l'impacte ambiental i produir productes finals de qualitat, ha empès al sector a considerar el biogàs com un recurs, i fins i tot a desenvolupar sistemes de tractament de les aigües basats en el procés anaerobi.

Des del punt de vista energètic, i llevat dels períodes de guerra a Europa, l'impuls en el desenvolupament de tecnologies basades en el procés es troba en les èpoques de crisi energètiques, a principis dels anys 70 i dels 80.

És a principis dels 80 que a Catalunya comencen a aparèixer equips treballant en el procés a les universitats i a centres de recerca de l'administració, i algunes empreses realitzen les primeres instal·lacions, bàsicament en el sector ramader, per aprofitar l'energia produïda.

Les primeres experiències pilot a gran escala (a nivell mundial) amb tractament de residus municipals es troben a Florida en el període 1978-85 (IEA, 1994) i, segons alguns autors, no es pot considerar que aquesta hagi estat una tecnologia prou provada i contrastada per residus urbans fins el 1995 (De Baere, 1999).

1.1.3- Nombre d'instal·lacions de digestió anaeròbia

El nombre d'instal·lacions de digestors anaerobis que hi ha a Espanya és de 25, les quals 23 són per residus agrícoles i 2 per residus agroalimentaris (referència “*Estudi del Biogàs*” per Oriol Roqué).

La distribució de les instal·lacions és molt heterogènia:

Distribució de les instal·lacions:

- Catalunya posseeix el 44 % de les instal·lacions.
- Aragó posseeix el 12 % de les instal·lacions.
- Extremadura posseeix el 12 % de les instal·lacions.
- Andalusia posseeix el 12 % de les instal·lacions.
- Madrid posseeix el 8 % de les instal·lacions.
- Navarra posseeix el 4 % de les instal·lacions.
- Castella-La Manxa el 4 % de les instal·lacions.
- Castella i Lleó el 4 % de les instal·lacions.
- Balears el 4 % de les instal·lacions.

Després de definir el concepte de digestió anaeròbia, a continuació s'expliquen les conseqüències medioambientals de l'ús d'alguns combustibles així com l'aprofitament de la matèria orgànica i l'obtenció de biogàs a partir de residus ramaders.

1.2- El problema de l'energia dels combustibles fòssils

Els combustibles fòssils plantegen un dilema a la nostra societat. La combustió del carbó, del petroli i del gas natural ens subministra el 88 % de l'energia que s'utilitza i permet portar el ritme de vida que es porta actualment, basat en el consum. A més a més, els gasos emesos durant aquesta combustió, degraden l'entorn i fins i tot poden arribar a alterar les condicions del nostre planeta; és més, això ja està succeïnt amb problemes com l'efecte hivernacle i la pluja àcida.

Les tècniques que estan en procés de desenvolupament haurien de centrar els seus objectius en mitigar les dues principals perturbacions produïdes; a escala regional, són la pluja àcida i la brutícia de l'atmosfera urbana o "smog". A una escala més general s'ha d'afrontar un problema més important, el de l'escalfament del globus terraquí o efecte hivernacle. Resumint, es podria dir que aquest efecte hivernacle és conseqüència de l'augment de CO₂ entre d'altres gasos a l'atmosfera. Aquest augment fa que augmenti la temperatura globalment, doncs, el CO₂ captura l'escalfor irradiada per la terra i la manté prop de la superfície.

1.2.1- Solucions al problema

Hi ha diferents mètodes i estratègies a seguir per solucionar aquests problemes:

- El modern sistema de cicle integrat de carbó que transforma el carbó en un gas de síntesi.
- El gas natural, aquesta opció també és molt atractiva
- La recuperació directa del diòxid de carboni de les emissions de les grans centrals, encara que aquesta estratègia encara és molt futurista.

Hi ha moltes possibles solucions que no han estat esmentades aquí. Aquest projecte pretén aconseguir un aprofitament energètic amb el biogàs generat de la digestió anaeròbia dels purins. És una solució que, tot i que no erradicarà els problemes existents a gran escala, si que ho farà a petita.

Últimament aquest tipus d'estratègia s'està estenent molt per tot el món, aquesta alternativa amb més o menys complicacions permet l'eliminació de residus i alhora la producció d'un gas ric en energia com és el biogàs (60 % de CH₄, 40 % de CO₂ entre d'altres compostos en menor presència). Per això i per molts d'altres motius els seus camps d'aplicació són:

- La depuració d'aigües residuals.
- L'eliminació de residus de tipus ramader bàsicament.

D'aquesta manera, amb aquest procés es contribueix a la millora del medi ambient de la següent manera:

- Reduint la quantitat de residus que és molt elevada.
- Obtenint una energia que dispensa de la utilització dels combustibles fòssils.

1.2.2- Aprofitament de la matèria orgànica

El procediment de l'aprofitament de matèria orgànica i obtenció de biogàs a gran escala es començà a difondre per França, Suïssa, Bèlgica i altres països europeus.

La brossa produïda per la població d'Espanya es pot distribuir de la següent manera:

- 44 % de Matèria Orgànica
- 22 % de Paper
- 11 % de Plàstic
- 7 % de Vidre
- 5 % de Matèries Tèxtils
- 4 % de Metalls
- 1 % de Gomes

- 0,16 % de Piles i Bateries
- 5,84 % Altres

El sistema d'aprofitament per obtenció de biogàs, tant en el cas d'un procediment a gran escala com en el cas d'un digestor domèstic, reduiria considerablement la quantitat de brossa, juntament amb els actuals plans de reciclatge de paper i cartró, de vidre i de piles i bateries.

Per tant, l'aprofitament de la matèria orgànica per a l'obtenció de biogàs és un fet molt important, com ho demostra el 44 % que actualment ocupa.

Amb el procediment per a l'obtenció de biogàs (principalment format per metà) s'aconseguiria emmagatzemar-lo en bombones, així com també es podria generar energia elèctrica deguda a la combustió d'aquest gas. Dels líquids, fongs i fangs resultants també s'obtindrien adobs naturals.

1.2.3- Tractament de residus ramaders

El problema dels residus no és nou i ha despertat inquietud des de fa molts anys. En el segle passat ja es buscaren solucions per la digestió anaeròbia. Louis Moura va construir la primera fossa sèptica el 1898 i Karl Imhoff construí el tanc que porta el seu nom el 1907 amb el doble ús de digestor anaerobi i decantador.

Des de llavors, els procediments per portar a terme la digestió anaeròbia han avançat molt, però ha estat durant els últims anys amb la crisi d'energia i l'agudització dels problemes de la contaminació, quan han augmentat notablement els estudis i les publicacions sobre el tema així com les instal·lacions de digestors amb bons rendiments.

A continuació es pot observar la quantitat de biogàs que es pot generar a partir de residus ramaders. En definitiva es pretén establir la conversió del residu ramader a biogàs utilitzant la digestió anaeròbia.

La següent taula 1a. mostra la quantitat de biogàs generada segons el tipus de residu ramader.

Producció de biogàs en funció de la matèria orgànica del residu			
Animals	Residu (l/dia)	Matèria orgànica (kg/dia)	m³ biogàs/kg m.o.
1 vaca	50	4.8	0.27
1 porc	10	0.35	0.4
1 ovella	40	3	0.25
100 gallines	7	4	0.25

Taula 1a Producció de biogàs en funció de la matèria orgànica del residu

(Nota: m.o. significa matèria orgànica)

1.3- Productes de la digestió anaeròbia

Els productes de la digestió anaeròbia són el biogàs juntament amb un efluent. El biogàs té unes característiques i utilitats que es detallen a continuació.

1.3.1- El biogàs

Com se sap, el biogàs és una mescla de metà (CH_4) i de diòxid de carboni (CO_2), amb petites proporcions d'hidrogen (H_2), nitrogen (N_2) i sulfur d'hidrogen (H_2S , un gas que fa una pudor molt característica, semblant a ous podrits). La composició així com la quantitat produïda de biogàs depenen, no tan sols del residu tractat, sinó que també de les condicions d'operació del digestor.

Cada any, l'activitat microbiana allibera entre 590 i 880 milions de tones de metà a l'atmosfera. Al voltant del 90 % del metà emès prové de la descomposició de la biomassa. La resta és d'origen fòssil, o sigui relacionat amb processos petroquímics. La concentració de metà a l'atmosfera a l'hemisferi nord és proper a 1,65 ppm.

El biogàs es pot originar a partir de dos tipus de biomassa: el d'abocador i el procedent de purins. El biogàs procedent del tractament de purins té moltes més variabilitats, tenint en compte les característiques dels mateixos purins, tot i que inicialment es poden establir esquemes comuns vàlids per a tots els aprofitaments. El biogàs que s'aconsegueix és una barreja de diferents gasos. Les proporcions varien en cada cas, segons quin sigui el procediment emprat en les instal·lacions o segons el tipus de purí.

- Composició mitjana típica del biogàs:

Component	Percentatge
Metà (CH ₄)	64
Diòxid de carboni (CO ₂)	35
Hidrogen (H ₂)	1-10
Nitrogen (N ₂)	0.3-3
Vapor d'aigua (H ₂ O _v)	0.3
Àcid sulfhídric (H ₂ S)	0.4

Taula 1b. Composició mitjana del biogàs

A més, s'ha trobat a vegades, monòxid de carboni (CO), amoníac (NH₃), i compostos orgànics volàtils.

A la següent taula 1c, es poden veure les dades típiques referents a la quantitat i composició en metà del biogàs obtingut a partir de diferents residus:

Tipus de residus		Producció de biogàs (ml/l/dia)	% CH ₄
Residus de granja	Vaca	500-800	52-62
	Porc	600-1000	49-65
	Aviram	233-1610	40-72,4
Aigües residuals		190-1176	52-69
Destil·laries		1100-1300	49-85
Processos alimentaris		3900-11800	69-85
Residus agrícoles		90-890	33-55
Sòlids urbans		79-180	55-75
Escorxadors		650-1200	42-81

Taula 1c. Obtenció de biogàs a partir de diferents residus

1.3.1.1- Efecte fisiològic

La presència dels compostos que conté el biogàs cal tenir-la en compte quan es vol sotmetre el gas a compressió, ja que, aleshores, els vapors d'hidrocarburs poden condensar, la qual cosa fa que calgui tenir en compte el disseny del recipient on s'emmagatzema el gas. L'eliminació del diòxid de carboni sol ser útil i, de vegades, necessària. La forma més senzilla de fer-ho és un rentat amb aigua quan el gas està pressuritzat.

La corrosió deguda al biogàs en els equips és més aviat conseqüència del sulfur d'hidrogen que dels productes àcids de combustió dels components sulfurats i nitrogenats a àcids nítric i sulfúric. Els metalls no ferrosos són susceptibles d'ésser atacats pel sulfur d'hidrogen, en particular el coure, el bronze i el llautó. Els compostos nitrogenats no ataquen significativament els metalls, mentre que els productes àcids de combustió ataquen l'interior dels cremadors; així, és comú trobar dipòsits de sulfat de ferro (II) en els cremadors de biogàs.

El sulfur d'hidrogen present (una mitjana del 0,4 %) és altament corrosiu i presenta problemes durant la combustió en calderes i motors d'explosió interna, per oxidació SO_2 i H_2SO_4 i condensació d'aquest últim per sota de 125 °C (punt de rosada). L' H_2S pot ésser eliminat per rentat, tècnica suficientment coneguda.

D'altra banda, la utilització del gas en processos químics, diferents de la combustió, és problemàtica. El metà és relativament inert i calen catalitzadors per dur a terme les reaccions útils. Tanmateix, l'àcid sulfhídric present actua com a enverinador de la majoria de catalitzadors. És a dir, que per aquest altre motiu també caldria eliminar-lo. La realitat és, per tant, que alhora de fer el balanç econòmic global pot ésser més interessant utilitzar el biogàs, sense eliminar-ne el sulfur d'hidrogen, com a combustible, enlloc d'eliminar-lo i utilitzar-lo com a matèria primera a la indústria química.

Aquesta utilització del biogàs com a combustible pot ésser aprofitada per la generació d'energia tèrmica, mecànica i elèctrica.

El poder calorífic inferior (PCI) del metà és de 35.984 KJ/Nm³ i el del biogàs està al voltant dels 23.000 KJ/Nm³. La seva combustió és neta, i malgrat l'efecte que pugui produir la presència d'àcid sulfhídric (sempre minsas), no produeix olors desagradables.

El metà té una temperatura crítica de -82 °C, per la qual cosa la seva liquació no és senzilla, o al menys no és pensable a l'escala de les granges d'explotació porcina.

Per les seves característiques, el biogàs és comparable en les seves aplicacions al gas manufacturat (18.400 KJ/Nm³) i el gas natural (35400KJ/Nm³).

Una de les aplicacions més curioses del biogàs, es tracta d'utilitzar aquest gas comprimit com a combustible per a vehicles (tractors, . . .) en condicions econòmicament favorables.

El valor calorífic del biogàs és al voltant de 6 kWh/m³. És a dir que un metre cúbic de biogàs és equivalent aproximadament a mig litre de combustible diesel.



El biogàs s'utilitza com una tecnologia ecològicament amista en molts països

1.3.1.2- Utilització

En principi, el biogàs pot ser utilitzat de quatre maneres diferents:

- a) Utilitzar el gas de baix poder calorífic per a la generació de vapor o electricitat.
- b) Subministrar part del gas net per a usos industrials. Tal i com s'ha explicat anteriorment, aquest cas no és gaire viable.
- c) Purificar aquest gas i injectar-lo a una xarxa de distribució en condicions semblants a les del gas natural.

d) Utilitzar el biogàs "in situ" com a matèria primera per a obtenir productes valuosos, com metanol o gas natural líquat.

El que siguin o no siguin viables les anteriors opcions, entre altres coses, dependrà de les característiques del gas (composició, poder calorífic, etc. . .).

Les alternatives existents per tal de cobrir la davallada són les següents:

- 1- Venda del gas a usuaris de combustibles a l'estiu: magatzem frigorífic i sector industrial en general.
- 2- Cogeneració d'energia elèctrica/tèrmica durant tot l'any. Autoconsum d'aigua calenta i energia elèctrica o bé venda d'electricitat a la companyia. Aquest punt té especial importància si es considera la possibilitat de connexió a la xarxa de distribució d'energia elèctrica. En el següent apartat 1.3.1.4 s'amplia aquesta informació.
- 3- Magatzem de l'excedent en bombones a mitja pressió (10-20 bars).

Normalment, el biogàs produït per un digestor es pot utilitzar directament com a qualsevol altre gas combustible. No obstant, és possible que el seu ús requereixi a vegades de processos que, per exemple, redueixin el contingut de sulfur d'hidrogen. Quant el biogàs es barreja amb aire en una proporció 1 a 20, es forma una mescla altament explosiva. Per tant, les pèrdues de les canonades en espais tancats constitueixen un perill potencial.

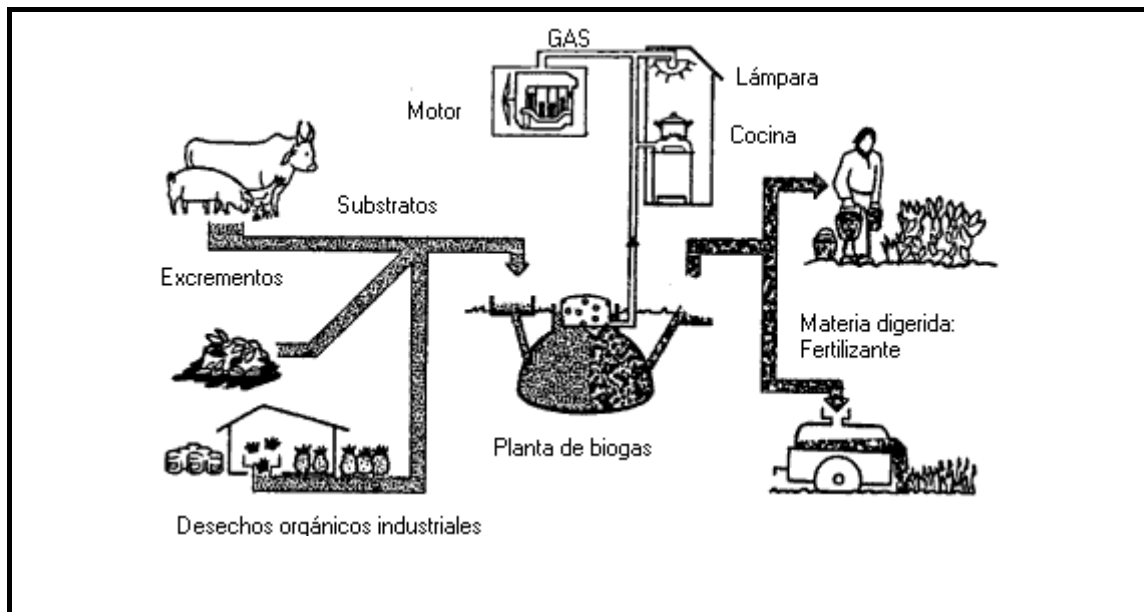
- Consum de biogàs en algunes activitats:

La següent taula mostra diferents consums de biogàs de diferents tipus d'aparells:

Destí	Característiques	Consum promig
Làmpares	Camiseta 100 veles	0,12 m ³ /h
	Camiseta 500 veles	0,105 m ³ /h/injector Ø 1,1
Cuina	Cremador Ø 2"	0,32 m ³ /h
	Per persona/dia	0,33 m ³ /dia
	2 cremadors injector Ø 2"	0,50 m ³ /dia
Forn	Cuina domèstica	0,44 m ³ /hora
Refrigerador	Cremador Injector Ø 1,1"	0,077 m ³ /h
	"Porte" mitjà	2,20 m ³ /dia
Motor	Cicle Otto	0,45 m ³ /HP-hora
Dutxa a gas	Pel bany	0,80 m ³
Incubadora	Espai intern	0,60 m ³ /h
Campana de raigs IR	1.500 Kcal; injector Ø 2,0"	0,162 m ³ /h
Escalfament d'aigua	100 °C	0,08 m ³ /t
Electricitat	1 Kw/h	0,62 m ³ /h

Taula 1d. Consum de biogàs en algunes activitats

El següent esquema visualitza el procés d'obtenció de biogàs en la ramaderia i agricultura:



Sistema típic de biogàs

1.3.1.3- Venda de gas

La venda de gas a tercers o a la xarxa de distribució de gas presenta com a problema inicial el transport. Donades les característiques del sector primari, la dispersió dels focus generadors i la necessitat de mantenir unes condicions de pressió, cabal i qualitat del gas mínimes, no sembla una alternativa realista si es contempla un escenari de petits fabricants de gas.

Caldrà que sigui considerada, però, aquesta alternativa allà on es donguin condicions de densitat de bestiar i proximitat a polígons industrials, que permetin una gestió comuna dels purins i qualificació tècnica en el control.

1.3.1.4- Transformació energètica del biogàs

En una planta de biogàs apareixen unes necessitats calòriques i energètiques, les quals fan que la utilització del biogàs en un sistema de cogeneració sigui òptim, obtenint a partir de la seva combustió energia elèctrica i tèrmica suficient pel funcionament de la planta, podent fins i tot vendre energia elèctrica sempre i quant s'acompleixin una sèrie de requisits establerts per a l'administració (*RD 2.366/94*), els quals s'engloben sota la forma del títol d'autogenerador.

Una de les parts del projecte consisteix en el disseny genèric d'una planta de biogàs dins d'una explotació porcina. Aquest biogàs s'intenta aprofitar-lo energèticament. Una de les seves aplicacions dins de la granja és de calefacció i producció d'energia elèctrica. Cal dir que l'autoconsum d'energia destinada a la calefacció troba el seu mercat en les granges de maternitat i cria del sector porcí. Ni el sector porcí d'engreix ni el boví són autoconsumidors.

El seu camp d'aplicació en la cria es troba en l'escalfament d'aigua a baixa temperatura, mitjançant una caldera amb cremador de gas. No és permesa la utilització de pantalles de combustió directe i escalfor radiant degut a l'alt contingut en diòxid de carboni del gas (tòxic que obliga a altes taxes de renovació d'aire a les naus).

En el mercat català i espanyol no existeix cap restricció per a ésser utilitzades les calderes de gas, que presten servei a conduccions de gas manufacturat, i tan sols caldrà fer una petita modificació en el regulador de pressió.

El consum d'energia per calefacció en granges de maternitat i cria té una davallada durant part de la primavera i l'estiu. Durant aquesta temporada el gas haurà de tenir altres usos per tal de rentabilitzar la planta de digestió anaeròbia.

- Sistemes de cogeneració:

Els sistemes de cogeneració es classifiquen segons el tipus de maquinària que utilitzen. D'acord amb aquest criteri, les opcions existents al mercat són les següents: cogeneració amb turbina de gas, amb turbina de vapor, amb cicle combinat i amb motor de combustió interna (motor tèrmic).

- Avantatges de la cogeneració:

- té un rendiment bastant interessant: 25 - 30 % en electricitat i 55 - 60 % en calor.
- és un equip utilitzat normalment en ramaderia (motor tèrmic), així que la majoria dels ramaders han de realitzar les feines de manteniment més habituals.
- una part de l'energia produïda (electricitat) pot ser fàcilment emmagatzemada injectant-la a la xarxa.

Tal i com s'ha comentat anteriorment, l'electricitat produïda en una explotació pot ser per l'autoconsum o bé injectada a la xarxa en el moment en el qual l'explotació no té necessitat. Per contra, la calor produïda no pot ser emmagatzemada i ha de ser valoritzada immediatament.

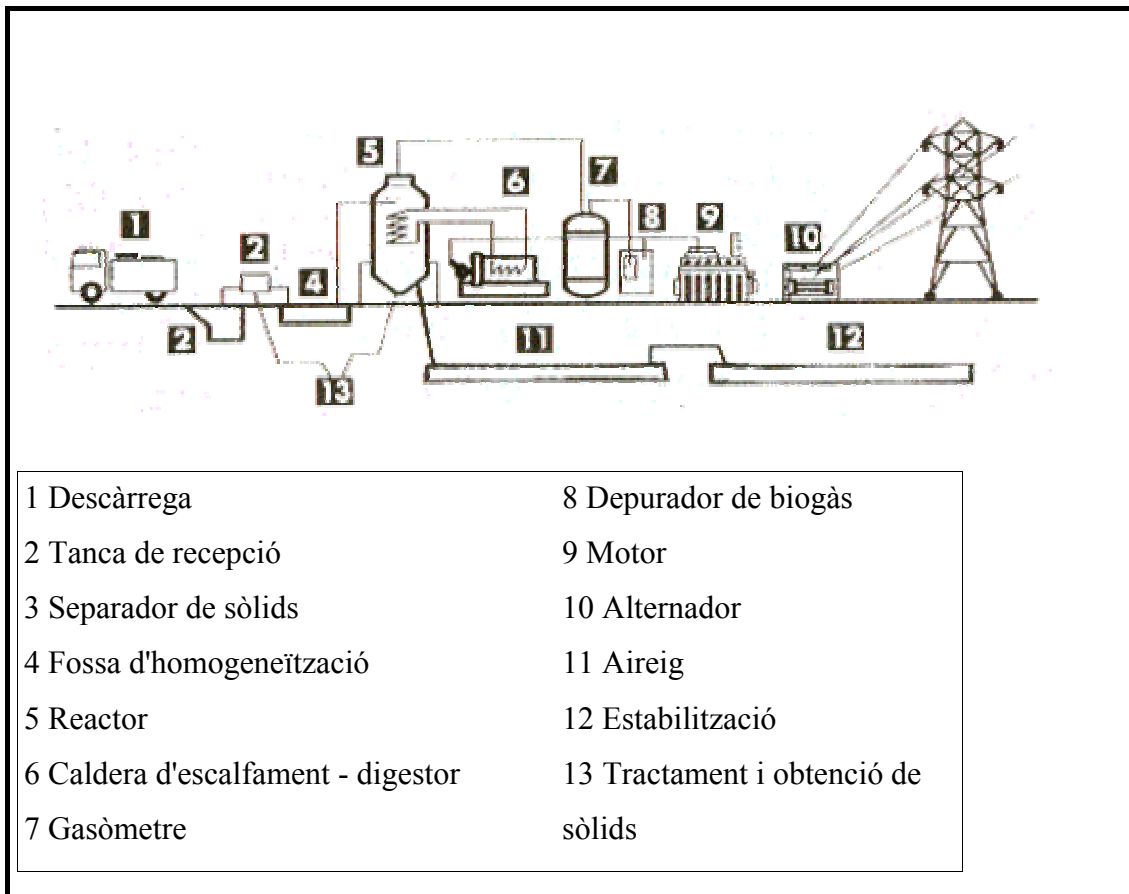
Els usos de l'aigua calenta produïda pel grup electrogen (sistema per produir aigua calenta) poden ser:

- L'energia tèrmica produïda pot ser fàcilment utilitzada pel pre-escalfament de l'aigua sanitària i l'energia suplementària pot ser elèctrica si és necessari.
- Per les explotacions porcines que tinguin grans necessitats de calor per la calefacció de les instal·lacions, l'aigua calenta produïda podrà ser utilitzada per la calefacció de les instal·lacions. Això implica una modificació complerta del sistema de calefacció si ja està instal·lat un sistema radiant. Si les instal·lacions estan equipades amb radiadors de gas, el biogàs també pot utilitzar-se mitjançant algunes modificacions:
 - Depuració del gas i compressió
 - Adaptació de les canalitzacions
 - Adaptació dels radiadors (regulació dels "xiclers"...)

En tots els casos, l'aigua calenta també pot utilitzar-se per la calefacció dels habitatges dels ramaders.

- Esquema d'una planta de tractament amb generació de biogàs

El següent esquema mostra a gran escala el procediment d'obtenció de biogàs, des de la descàrrega fins a la producció d'energia elèctrica. En aquest cas, i en el cas del projecte, la matèria primera són els purins, els quals són digerits en un digestor anaerobi. El producte final és un purí digerit el qual serveix com a adob; d'altra banda, s'obté biogàs on s'aprofita energèticament.



1.3.2- L'efluent de la digestió anaeròbia

Fins ara s'han detallat les característiques del biogàs (producte de la digestió anaeròbia). A continuació s'explica com és l'efluent que també s'obté del procés de digestió.

- Característiques de l'efluent

Efluent o residu de fermentació metànica (anaeròbia) és una suspensió de color gris fosc, sense olors ofensius, formada per una mescla de sòlids de tamany i consistència variable, els quals es troben en suspensió o dispersos en medi aquós, formats bàsicament per compostos ja estabilitzats difícilment digeribles i alguns compostos orgànics simples fàcilment assimilables pels vegetals (*Turet, 1986*).

L'augment relatiu de riquesa de nitrogen, fòsfor, potassi i altres components minerals que experimenten els residus metanogènics (alt contingut en metà) com a conseqüència de la mineralització provocada pel procés de la digestió anaeròbia, causa una disminució del contingut de matèria orgànica a efluent. Aquesta disminució oscil·la entre el 26 % i el 77 % segons el contingut de compostos cel·lulòsics, hemicel·lulòsics i hidrosolubles, principalment. Aquesta dada és especialment interessant quant s'utilitza el fertilitzant en forma sòlida o semi-sòlida, com és el nostre cas en el que s'obté el purí digerit el qual és apte com a adob. Recentment uns investigadors francesos, han desenvolupat un procediment de secat a baixa temperatura dels fems especialment apte per a la seva combinació amb l'excedent associat a la producció estival de biogàs.

Respecte a la utilització integral de l'efluent per aplicació directa del cultiu, es pot considerar que el valor fertilitzant immediat del producte digerit, per quantitats idèntiques d'elements fertilitzants en tots dos productes, és lleugerament superior que en el producte fresc. Probablement, aquesta superioritat sigui deguda en gran mesura a una major disponibilitat del nitrogen preexistent en el sòl del primer cas.

Així, en els seguiments de mineralització "in vitro" del nitrogen en dos substrats metanogènics diferents (fems líquids de porc i espigues de blat), s'observa que pràcticament no es modifica el nitrogen mineral del sòl quan aquest és fertilitzat amb els productes digerits; en canvi, els productes frescos provoquen una modificació molt important del nitrogen mineral, especialment en el cas de les espigues de blat.

Això també podria ser degut, amb menor part, a una major proporció de nitrogen amoniacal a l'efluent.

- Utilització de l'efluent

Els efluent poden utilitzar-se de forma integral, és a dir, tal i com surten del digestor, o bé poden sotmetre's a un fraccionament previ per processos de concentració per decantació/sedimentació, centrifugació o secat; que separin amb més o menys precisió la part sòlida de la líquida.

En el cas més específic dels fems líquids (residu ramader en forma líquida) que, són els que més problemes plantegen en quant a contaminació, hi ha la següent alternativa possible per a la utilització de l'efluent:

- La nutrició animal amb purins digerits està encara en fase d'investigació i desenvolupament, i és encara difícil poder establir comparacions entre purins digerits i frescos. Sembla ser, no obstant, que a priori les transformacions necessàries per aquest tipus de reciclatge siguin menys problemàtiques amb els purins digerits, per raons físico-químiques (millor separació de fases), organolèptiques (reducció o absència d'olors) i microbiològiques (eliminació més o menys completa de gèrmens patògens en el digestor).

Així, la separació de fases de l'efluent, que per la seva valoració com a additiu dels pinsos és indispensable (doncs la major part de les proteïnes es troba a les partícules sòlides més petites i a la massa bacteriana), sol fer-se mitjançant una centrifugació avançada.

Aquest procés, exigeix, en teoria menors despeses energètiques que amb els purins frescos, donada la major facilitat de decantació prèvia dels purins digerits. Així mateix, per ésser la centrifugació dels purins digerits més estables que en els frescos, l'assecat és, en qualsevol cas, menys problemàtic.

- Com a fertilitzant per a l'ús agrícola. Aquesta alternativa és una de les més interessants doncs s'inscriu amb facilitat a la pràctica de la ramaderia intensiva, doncs no suposa cap mena de professionalització del ramader.

El procés de digestió anaeròbia segueix tota una sèrie d'etapes. El següent apartat fa referència als aspectes més característics i a les etapes de la digestió anaeròbia.

1.4- Etapes de la digestió anaeròbia

La conversió biològica de la matèria orgànica complexa en metà la realitzen poblacions bacterianes molt diverses, les activitats metabòliques de les quals operen a diferents nivells tròfics (és a dir que diferents espècies realitzen diferents reaccions bioquímiques). El metà obtingut és bioquímicament inert en condicions anaeròbies i en absència d'acceptadors d'electrons, la qual cosa assegura la continuïtat de la descomposició orgànica.

La digestió anaeròbia s'ha dividit clàssicament en tres etapes:

- **Etapa d'hidròlisi-acidogènesi**

Els polímers orgànics són hidrolitzats a molècules senzilles i solubles, que són fermentades fonamentalment a àcids orgànics, etanol, amoníac, hidrogen i diòxid de carboni.

- **Etapa acetogènesi**

Els compostos intermedis (àcids orgànics, alcohols,...) són consumits pels bacteris acetogènics i transformats a àcid acètic, diòxid de carboni i hidrogen. Aquest darrer és metabolitzat pels bacteris homoacetogènics, per generar més àcid acètic.

Aquests bacteris que duen a terme a terme aquestes reaccions són anomenats organismes *OHPA* (acetògens productors obligats d'hidrogen). La seva existència ve lligada a la dels bacteris consumidors d'hidrogen.

Finalment es pot observar que l'acetat es pot arribar a obtenir per tres vies:

- coproducció a partir de la matèria orgànica
- homoacetogènesi a partir de l'hidrogen, diòxid de carboni o sucres
- acetogènesi amb producció simultània d'hidrogen

- **Etapa metanogènesi**, en la qual es produeix el metà a partir de substrats monocarbonats o en alguns casos amb substrats amb dos carbonis units amb un enllaç covalent.

Els microorganismes que duen a terme aquesta etapa tenen unes característiques tant particulars que formen un grup a part dins els procariotes, anomenat arqueobacteris. Les diferències amb la resta de procariotes es refereixen a la composició de la paret cel·lular, a la presència de determinats lípids a la membrana i d'ARN-polimerasses amb composició diferent.

Els substrats utilitzats són: hidrogen, diòxid de carboni, formiat, CO, compostos amb un grup metil (com el metanol), i l'acetat, dels quals els més importants són l'hidrogen, el diòxid de carboni i l'acetat. Tot i així la metanogènesi a partir de l'hidrogen i el diòxid de carboni és quatre vegades més energètica que la que es fa a partir de l'acetat.

- Factors que influeixen en la fermentació

La naturalesa i composició química del substrat condiciona la composició qualitativa de la població bacteriana de cada etapa, de manera que s'estableix un equilibri, fràgil o estable segons la composició i operació del sistema. Mentre que en les fases d'hidròlisi-acidogènesi, els microorganismes acostumen a ser facultatius, és a dir, poden ser-hi o no. Per la tercera fase els microorganismes són estrictes (necessaris) i amb taxes màximes de creixement de l'ordre de 5 vegades menors als acidogènics.

Això significa que si els bacteris metanogènics tenen algun problema per reproduir-se i consumir els àcids, per efecte d'algun inhibidor o per manca de temps de procés suficient, es produirà una baixada de pH. Per assegurar un procés estable cal que el medi tingui suficient alcalinitat.

De la mateixa manera, les taxes de conversió del substrat en biomassa bacteriana amb sistema anaeròbic són de l'ordre de 4 vegades inferiors a les taxes corresponents a sistemes aerobis d'eliminació de matèria orgànica, la qual cosa implica que el procés anaerobi sigui, en línies generals, lent, requerint varies setmanes d'engegada per aconseguir una producció estable de gas.

La producció màxima de biogàs d'un residu determinat depèn de la seva composició relativa en lípids, glúcids i proteïnes. Demeyer et al. (1981) estimen que la producció màxima de biogàs per cada tipus de component de la matèria orgànica és equivalent a 0,89 tep/tona de lípids, 0,32 tep/tona de glúcids i 0,42 tep/tona de proteïnes.

1.4.1- Condicions de funcionament

El correcte funcionament d'un digestor anaerobi està condicionat a una sèrie de paràmetres classificables en dos grups: paràmetres ambientals (nutrients, factors inhibidors-estimuladors, el pH i l'alcalinitat, la temperatura, el potencial redox, entre d'altres) i els paràmetres operacionals (temperatura i temps de retenció hidràulica (TRH)).

1.4.1.1- Paràmetres ambientals

a) Els nutrients

Per tal de dur a terme la digestió anaeròbia d'un substrat, cal que contingui tots els elements necessaris pel creixement dels microorganismes, especialment carboni, nitrogen i fòsfor. La relació òptima entre C/N/P és 150/5/1. En el cas que hi hagi excés de nitrogen, aquest es pot acumular en forma d'amoniac, que pot assolir nivells tòxics pels bacteris.

b) Els factors inhibidors-estimuladors

Els cations de metalls alcalins i alcalinoterris en concentracions baixes tenen efectes estimuladors, ben al contrari que en concentracions altes on poden ser altament inhibidors. La inhibició augmenta en el sentit: $\text{Na}^+ < \text{K}^+ < \text{Ca}^{2+} < \text{Mg}^{2+}$.

Pels cations de metalls pesats (Fe, Co, Mo i Ni, entre d'altres) cal una concentració baixa perquè es produeixi el creixement dels bacteris metanògens. L'ordre decreixent de toxicitat per aquests metalls és:

$\text{Zn}=\text{Cu}=\text{Cd} > \text{Cr(VI)}=\text{Cr(III)} > \text{Fe}$

Per tal de poder controlar la inhibició per metalls pesats a l'interior del digestor s'hi afegeix sulfurs. L'acció dels sulfurs és la de precipitar els metalls pesats, excepte en el cas del crom que forma una sal soluble.

Altres inhibidors són diversos compostos orgànics, com dissolvents, antibiòtics, pesticides, detergents i nitrats. Amb concentracions febles d'aquests compostos es pot inhibir l'activitat metanògena.

L'efecte tòxic dels àcids grassos volàtils (AGV) no és degut a l'acidesa pròpia, sinó que n'és responsable la forma no ionitzada. A un pH baix, els AGV poc dissociats tenen un efecte tòxic important, mentre que a un pH neutre, la seva toxicitat és feble.

c) El pH i alcalinitat

A cada fase del procés, els microorganismes presenten màxima activitat en un rang de pH diferenciat: hidrolítics entre 7,2 i 7,4; acidogènics entre 7 i 7,2 i metanogènics entre 6,5 i 7,5.

A les aigües residuals amb baix poder tampó cal controlar exteriorment el pH, a fi d'evitar la seva baixada deguda als àcids generats a la segona fase. No és així pels residus d'alta càrrega, pels quals la seva alta alcalinitat permet una autoregulació permanent del pH.

Es treballa en tots els casos al voltant de la neutralitat. S'admet que una alcalinitat compresa entre 2 i 3 g CaCO₃/L és suficient per la regulació del pH en el reactor.

d) La temperatura

La temperatura és un paràmetre ambiental i operacional. Com a paràmetre ambiental, té una importància rellevant en el procés, especialment en els bacteris metanogènics. Aquests són sensibles a canvis de temperatura, de manera que una disminució de pocs graus respecte la temperatura habitual de treball, interromp la producció de metà, però sense afectar la producció d'àcids grassos volàtils (AGV), fet que pot provocar una acumulació dels mateixos al reactor, amb les conseqüències que això suposa.

e) El potencial redox

Cal que sigui suficientment baix per poder assegurar el desenvolupament de poblacions metanogèniques estrictes. En cultius purs els bacteris metanogènics requereixen potencials d'oxidació-reducció compresos entre -300 mV i -330 mV.

f) Potencials i rendiments

Pel principi de conservació de la matèria, en un reactor anaerobi la quantitat eliminada de Demanda Química d'Oxigen (DQO) es converteix en gasos oxidables. Si aquests estiguessin constituïts íntegrament per CH₄, l'eliminació d'1 kg de DQO es pot transformar en una quantitat màxima de 0,35 m³ de CH₄, en condicions normals de pressió i temperatura. En unitats d'energia primària es tradueix en un valor de l'ordre de 3,5 kWh/kg DQO eliminada.

En realitat es produeixen petites quantitats d'altres gasos oxidables (H_2S , H_2), i per tant la taxa és sempre lleugerament inferior a 0,35. *Haug (1993)* estima la generació de calor durant el procés de compostatge anaerobi a través de la relació entre DQO eliminada i metà generat, i entre aquest i la seva potència calorífica.

Queda clar que en medi aerobi no hi ha producció de metà, encara que alguns autors detecten produccions significatives en piles de compostatge (*Edelmann et al. 1999*), però aquesta relació permet un apropament a les relacions de conservació de l'energia en processos de descomposició de compostos orgànics.

A partir de la relació anterior, coneixent la relació DQO/SV per a un residu determinat, es podria suposar en calcular el seu potencial de producció de metà, en base a hipotitzar un percentatge d'eliminació de DQO. Aquest potencial teòric queda limitat per la biodegradabilitat en medi anaerobi de cada compost. Així, les lignines o els complexos ligno-cel·lulòsics no són degradades en medi anaerobi, requerint un pretractament tèrmic en medi àcid o bàsic per aconseguir la descomposició a formes solubles biodegradables.

Segons el component del residu, o el pes relatiu d'aquest, es poden aconseguir diferents graus de descomposició, modificant-se el potencial de producció de biogàs.

1.4.1.2- Paràmetres operacionals

a) La temperatura

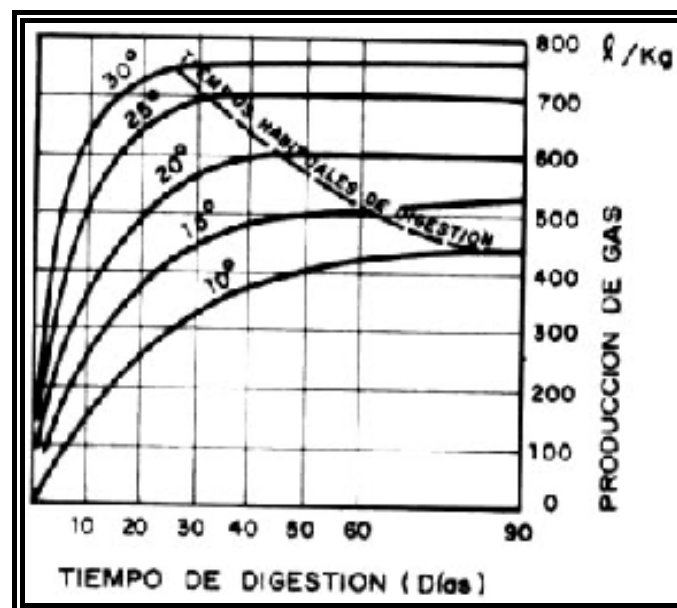
El procés de digestió anaeròbia pot realitzar-se a tres rangs diferents de temperatura:

- Psicròfil: per sota dels 20 °C.
- Mesòfil: entre 30 i 40 °C.
- Termòfil: entre 50 i 70 °C.

Amb l'augment del rang de temperatures s'augmenta la velocitat de creixement dels bacteris i les taxes d'hidròlisi, i amb això la velocitat global del procés i de producció de biogàs. Treballant en el rang termofilic s'assegura, a més, la destrucció de patògens, l'eliminació de males herbes i d'ous i larves d'insectes, de manera que és un sistema amb gran implantació en països amb legislació ambiental restrictiva.

Malgrat les grans avantatges dels sistemes termofilics, aquests requereixen de major control i seguiment, degut a que a altes temperatures es modifiquen les característiques hidrodinàmiques del medi i alguns compostos, com el nitrogen amoniacal, es comporten com inhibidors. Això es pot superar mitjançant mescles adequades de diferents residus (co-digestió).

El gràfic que es mostra a continuació indica quina és la producció de gas a partir d'1 kg de residu orgànic de llots frescos injectats en un digestor i a diferents temperatures:



Producció de gas a partir d'1 kg de residu orgànic de llots frescos injectats en un digestor, sotmès a diferents temperatures

b) Temps de retenció hidràulic (TRH)

S'anomena temps de retenció hidràulic (TRH) al temps que el substrat roman a l'interior del reactor, sotmès a l'activitat bacteriana. En un reactor de mescla completa que funcioni a règim estable, existeix un equilibri entre la velocitat d'entrada de materials potencialment biodegradables (velocitat de dilució) i la velocitat de creixement dels microorganismes a l'interior del reactor. Així doncs, si es redueix el TRH augmenta la velocitat de dilució i com a tal, augmenta l'activitat bacteriana del reactor, essent la conseqüència més directa un augment de la producció de biogàs per unitat de volum del reactor.

Els TRH factibles per a la digestió anaeròbia de purins porcins (residu ramader) en reactors de mescla completa a règim mesòfil són entre 9 i 25 dies, essent òptims entre 12 i 20 dies.

- Resum del procés d'obtenció del biogàs

Mitjançant diverses reaccions, un ampli conjunt de substrates materials amb àtoms de carboni en diferents estats d'oxidació-reducció, es converteixen en molècules que contenen àtoms de carboni amb les formes més oxidades (diòxid de carboni) i més reduïdes (metà). Aquests productes són estables i no sofreixen degradacions posteriors en sistemes d'emmagatzematge on la llum i els acceptadors d'electrons inorgànics, com el nitrat i l'oxigen, hi són absents.

En aquest procés es distingeixen diverses operacions:

- Acondicionament de les matèries primeres: es redueix la seva mida i s'afegeix aigua per poder formar una mescla adequada per a la digestió posterior.
- Reacció global de conversió en el digestor. Els factors que influeixen en la degradació bacteriana i en la producció de biogàs són: el pH, l'alcalinitat, l'acidesa, la temperatura, els nutrients i substàncies que afavoreixen el procés, els inhibidors, la densitat de càrrega, el temps de residència, el grau de mescla i l'agitació i immobilització dels microorganismes.

- La separació dels llots (concentració de fangs) i aigua depurada: es pot realitzar mitjançant l'absorció del diòxid de carboni en dissolucions aquoses, amb o sense reacció química. Aquesta operació és opcional, ja que el biogàs obtingut té aplicacions energètiques.

A continuació es comenten els tipus de digestors per a portar a terme la digestió. Els digestors anaerobis varien molt uns dels altres des de el punt de vista de la complexitat i del funcionament.

1.5- Tipus de digestors

En el disseny, construcció i bon funcionament d'un digestor s'han de tenir en compte nombrosos factors per a cada residu i condicions ambientals en concret.

La primera divisió dels digestors anaerobis es pot fer en:

- a) Convencionals: de gran difusió en el món i d'escassa complicació.
- b) Alta velocitat: aquests utilitzen sistemes per a la retenció de sòlids o bacteris, i consegüentment posseeixen un major rendiment.

1.5.1- Digestors convencionals

Es considera digestors convencionals aquells que s'utilitzen més i que en tot cas no incorporen sistemes de retenció d'organismes. Es poden considerar com a digestors convencionals els següents tipus: Digestors discontinus, Digestors continus sense calefacció ni agitació, Digestors continus amb calefacció i sense agitació, Digestors continus amb calefacció i agitació. A continuació es detallen les característiques de cadascú.

Nombrosos científics no consideren l'últim tipus de digestor citat com a convencional, doncs incorpora sistemes de calefacció per mantenir una temperatura òptima i constant i sistemes d'agitació per aconseguir una uniformitat de la massa en digestió. S'ha considerat convencional perquè el seu rendiment és bastant inferior als que es consideren d'alta velocitat.

1.5.2- Digestors d'alta velocitat

Es poden considerar digestors d'alta velocitat aquells que sotmetent-los a uns temps de retenció relativament baix proporcionen una bona capacitat d'eliminació de la càrrega orgànica del digestor.

Els digestors anaerobis d'alta velocitat es poden dividir en dos grups atenent als seus principis de funcionament:

a) Digestors basats en la fixació de bacteris en un suport: a aquest grup pertanyen els biofiltres, els digestors de pel·lícula fixa i els de llit fluiditzat.

b) Digestors basats en la retenció de la massa microbiana sense suport: a aquest grup pertanyen els digestors de contacte anaerobi i els UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket).

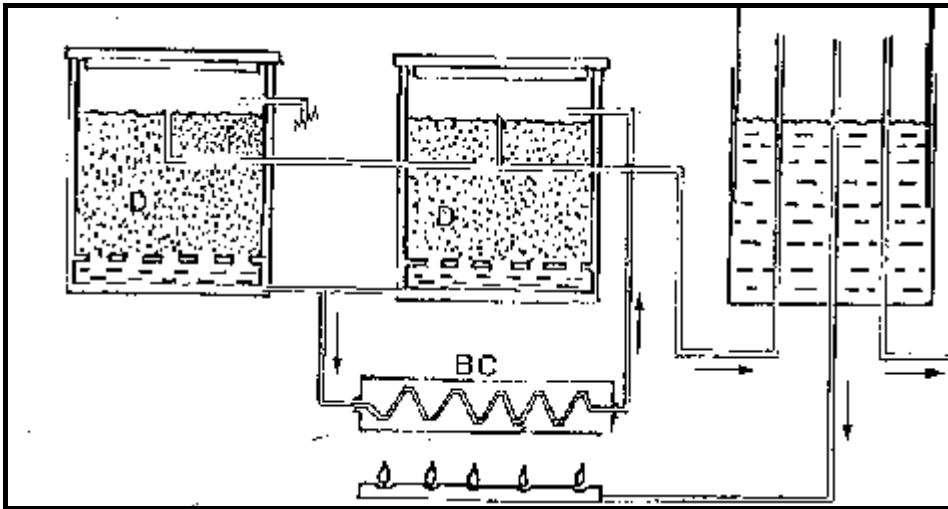
1.5.3- Digestors més utilitzats

A continuació s'expliquen breument els digestors més utilitzats en els processos industrials així com un esquema de cadascú per visualitzar millor el procés.

Procés per càrregues (batch)

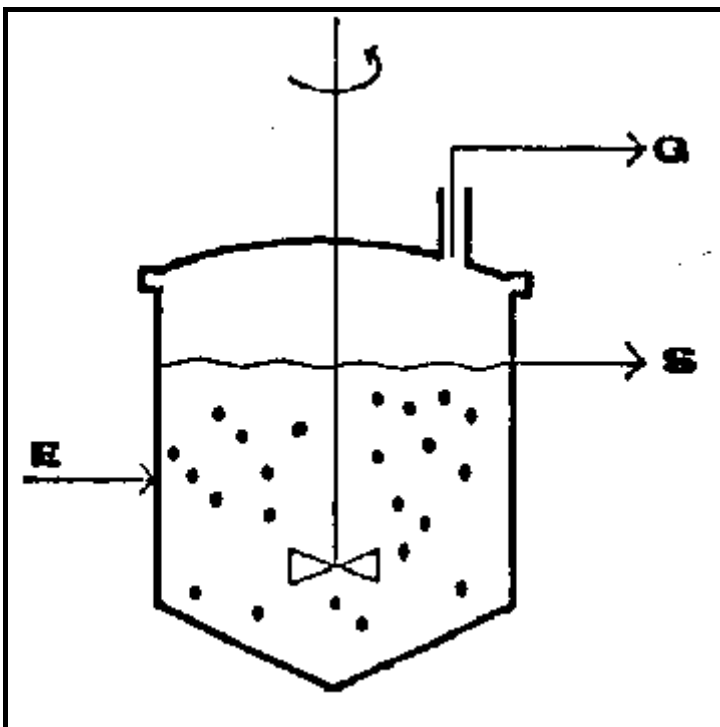
S'omple el digestor amb el residu a tractar, eventualment s'afegeix una determinada quantitat d'inòcul (segons el tipus de residus), es tanca el digestor i no s'obre fins que s'ha completat la digestió, recollint-ne el gas produït.

És el sistema més senzill però també el que menys avantatges té: la quantitat de gas produït és relativament petita i la primera part no és aprofitable degut a l'aire que conté. Forma mesclades explosives a relacions 1:4 a 1:14 si se'l crema. A més, la primera fracció de gas produït acostuma a contenir una gran quantitat de CO₂.



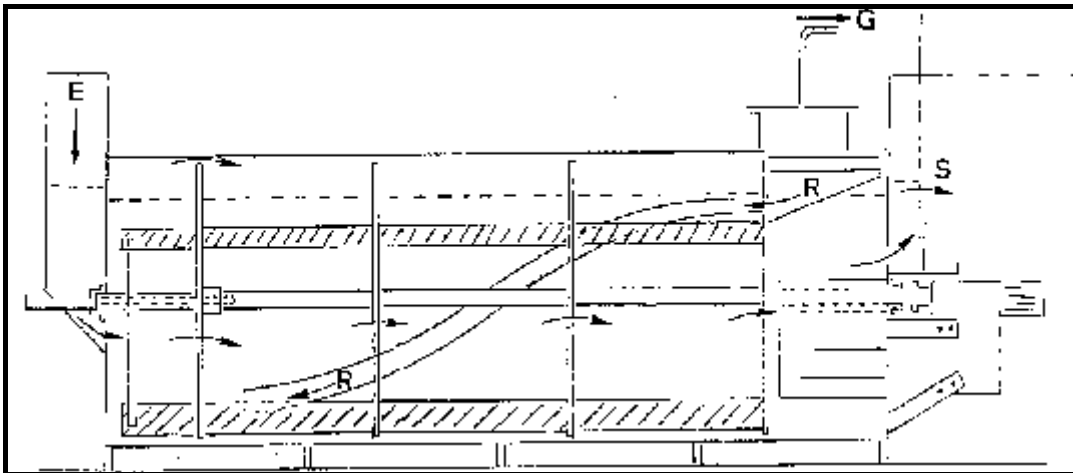
És un procés lent i ineficaç. Tanmateix, aquest procediment és útil per a experimentacions preliminars i per obtenir inòculs metanogènics enriquits per a determinats residus.

Digestors continus



Els digestors continus són sistemes en els quals el substrat és alimentat contínuament al digestor, o alimentat a intervals regulars. L'homogenització del medi està assegurat per l'agitació mecànica, o per agitació per recirculació de gas. L'agitació per recirculació de gas, necessària en el cas de digestors molt grans, no sol ser recomanable per a instal·lacions petites ja que exigeix la compressió del gas. Aquest sistema és recomanable en el cas de corrents concentrades amb un percentatge significatiu de sòlids no biodegradables.

Digestors de flux de pistó



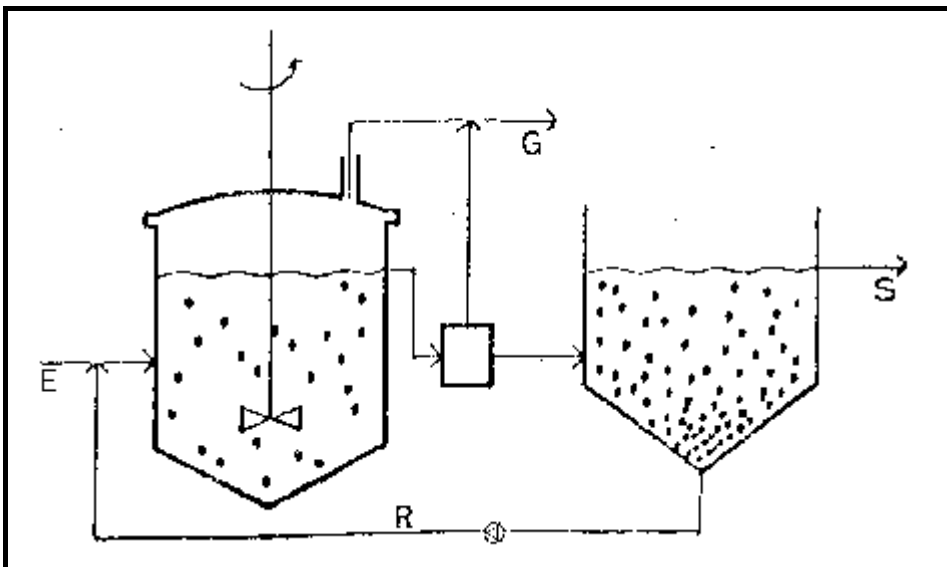
Són digestors continus on es força la circulació dels materials per desplaçament horitzontal. Solen constar de sistemes d'agitació mecànica i escalfament per resistències elèctriques o injecció de vapor. Són útils per a corrents amb un percentatge elevat de sòlids (per exemple, excrements animals o residus domèstics). Respecte a la gran quantitat d'avantatges que té es contraposa la limitació del volum del digestor i l'encariment que suposa la seva sofisticació des de el punt de vista tècnic.

Procés de contacte anaerobi

És senzillament un digestor monoetapa al qual s'ha afegit un decantador que permet de recircular els fangs, i que per tant, augmenta la seva concentració de microorganismes.

Aquest sistema és adequat per tractar afluents amb càrregues mitjanes o altes i admet una alta concentració de sòlids en suspensió. Donat que l'eficàcia del sistema depèn fonamentalment de la del decantador, aquesta és una de les etapes més controlades del procés. Per millorar-la hi han diferents possibles mesures:

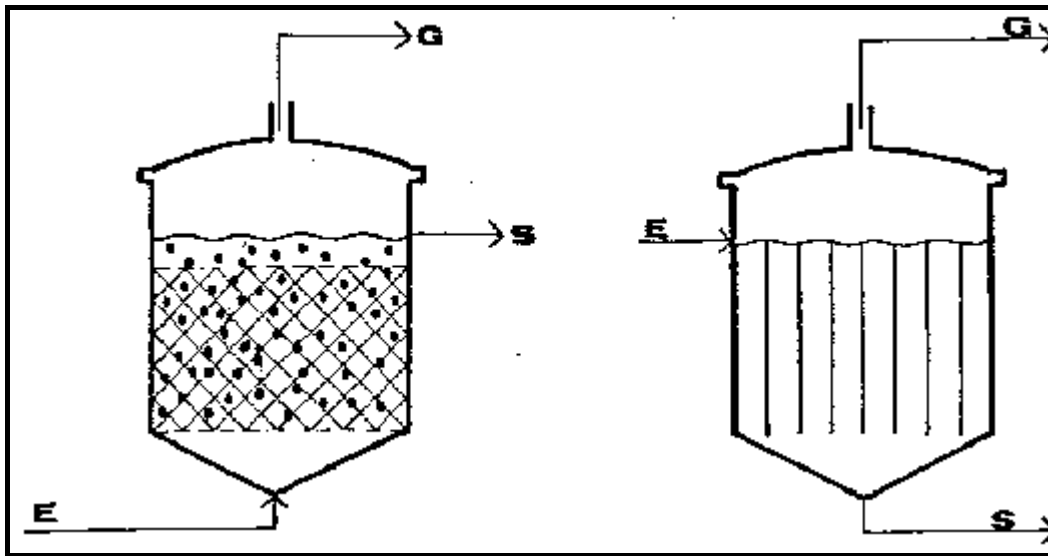
- Efectuar una desgasificació ràpida per agitació intensa en un recipient intermedi, entre el digestor i el decantador; on a més d'agitar, es pot fer el buit.
- Aplicar un xoc tèrmic al corrent.
- Afegir substàncies floculants que augmentin la decantabilitat dels fangs.



Processos amb biomassa fixada

En els digestors on s'apliquen aquests tipus de processos es tracten corrents diluïts i poden operar amb temps de residència molt petits sense que es produeixin pèrdues significatives de biomassa.

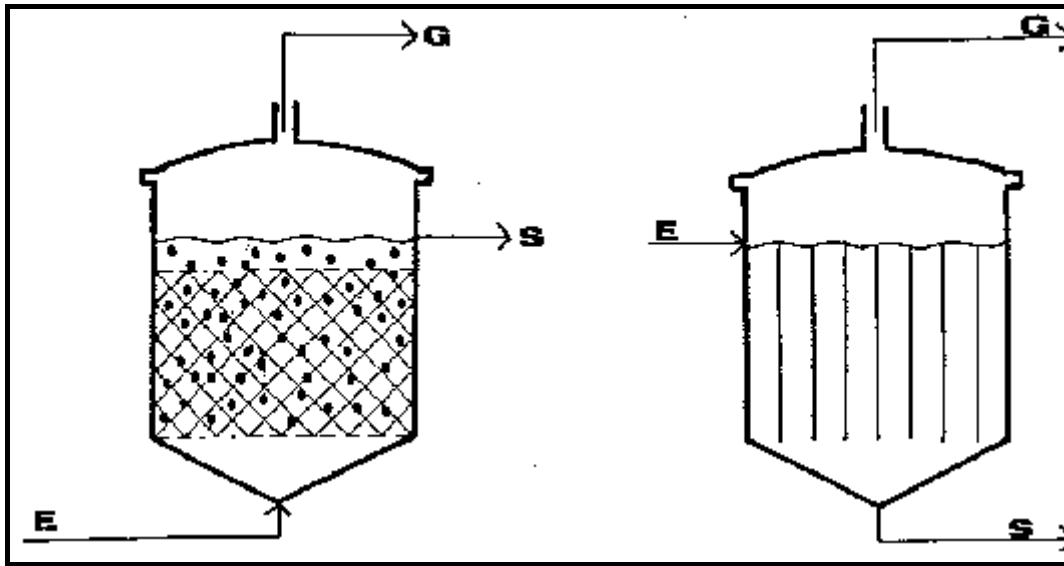
Entre aquests processos es poden destacar els següents :



Filtre anaerobi

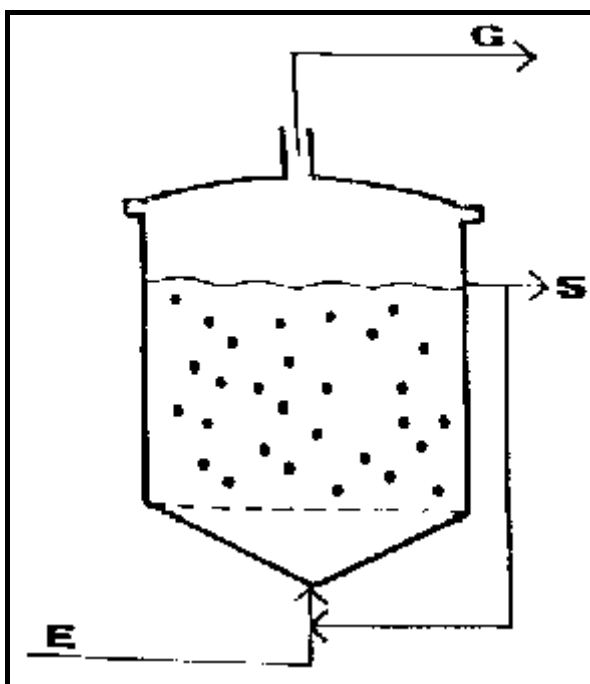
Consisteix en un recipient reblit d'un material inert sobre el qual s'han fixat els microorganismes. No és útil quan hi ha sòlids en suspensió (poden obstruir el filtre) i cal dissenyar-los adequadament per tal d'evitar la creació de camins preferencials i el taponament dels distribuïdors.

Digestor de pel·lícula fixada



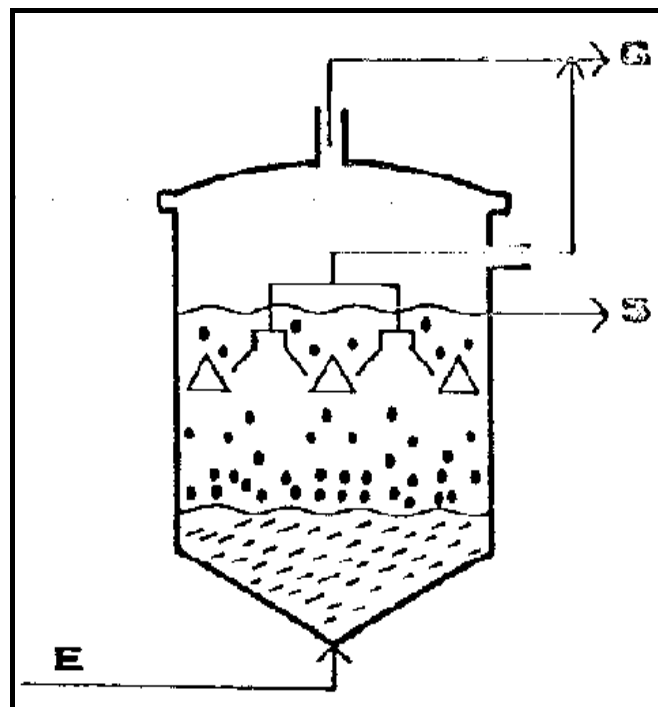
La pel·lícula bacteriana està fixada sobre un suport inert, essent l'alimentació per la part superior amb la qual cosa es resolen els problemes de colmatació i repartiment del corrent d'entrada, que tenen els filtres.

Digestor de llit fluiditzat



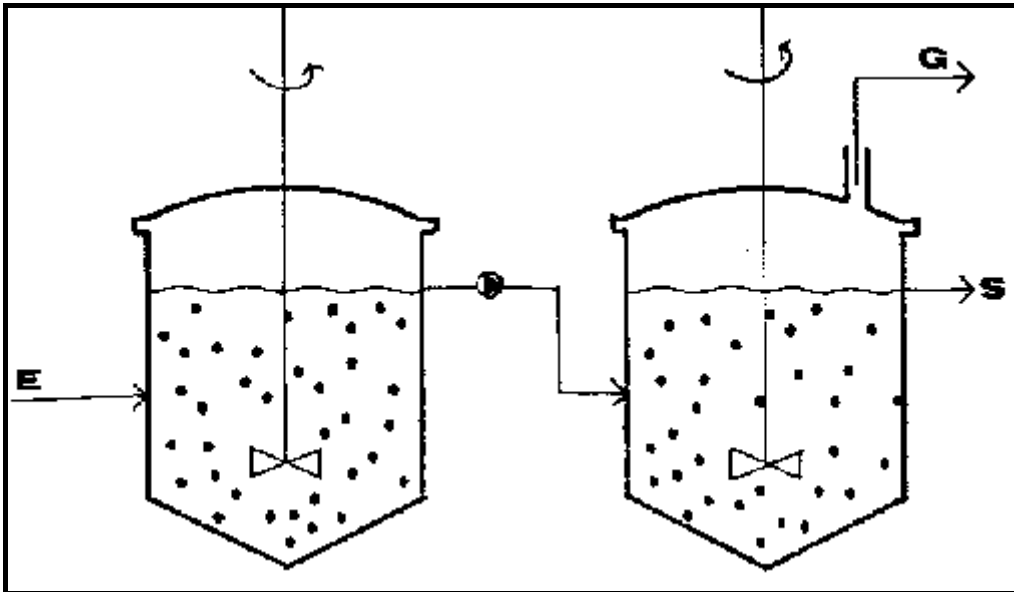
És semblant al filtre en quant al mètode de fixament dels bacteris, però amb la diferència de que el llit està fluiditzat. Segons els resultats, de moment experimentals, sembla que l'eficàcia d'aquest sistema supera molt als anteriors.

Sistema Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)



El digester UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) desenvolupat a Holanda aconsegueix que els microorganismes formin uns floculs que es decanten fàcilment amb la qual cosa s'evita el "rentat" del digester mantenint unes condicions adequades en aquest. Si a això s'hi afegeix un dispositiu original de separació gas-líquid, hi ha un sistema amb una eficàcia de depuració molt elevada. Té però un inconvenient: el mecanisme d'autofloculació dels bacteris està relacionat amb el corrent a tractar i, segons la seva naturalesa, pot no ser efectiu. De fet, aquest sistema s'ha aplicat amb un èxit notable al tractament d'aigües residuals d'origen alimentari.

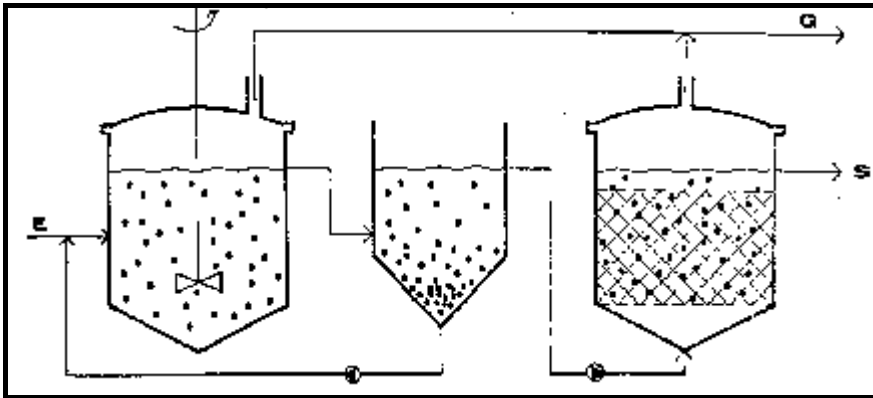
Digestor de dues etapes



És, possiblement, el sistema de digestió anaeròbia més controvertit. Es basa en realitzar l'etapa acidogènica i metanogènica per separat, en dos digestors diferents, un a continuació de l'altre, fent-los operar en les condicions òptimes per a cadascuna d'elles. Tot i això, es pot trobar la part negativa d'aquest tipus de digestor en el trencament de la dinàmica de la població bacteriana, basada segons sembla en la simbiosi o acció sintròfica dels bacteris acidogènics i de les metanogèniques.

Tot i que en un principi el procés era atractiu i que es continua investigant a nivell de laboratori, en general aquest procés s'ha deixat una mica de banda i s'ha optat per els altres sistemes.

Sistemes mixtes



Com s'ha vist cada sistema és útil per un determinat tipus d'efluent. Es pot pensar, doncs, en aplicar a un mateix efluent un sistema mixt format per dos tipus de digestors: en el primer es tractaria efluent brut i, en el segon, el corrent de sortida del primer.

Per exemple, un dels sistemes mixtes utilitzat per tractar els efluents d'una indústria paperera, és utilitzar en primer lloc un digestor de llit fluiditzat i, en segon, un filtre anaerobi que completa la depuració desitjada.

Una altre alternativa, podria ser tractar efluent brut amb un procés de contacte anaerobi seguit d'un filtre.

Digestió anaeròbia seca

Quan es tracta de processar biomassa seca amb alguns dels sistemes anteriors és evident que cal afegir quantitats d'aigua molt grans que podrien encarir molt el procés. Donat que actualment cobra importància la gestió de residus sòlids (urbans, forestals o agrícoles) és interessant considerar el criteri de fermentació seca.

En definitiva, es tracta d'afegir quantitats reduïdes d'aigua al procés. Això simplifica enormement les necessitats de recollida i pretractament dels residus i el disseny i operació del digestor seria molt més simple. A més, s'ha calculat que la producció d'energia pot satisfer més del 100 % de les necessitats energètiques i que, en tot cas, l'economia global del procés és molt satisfactòria.

En contrapartida, cal un digestor de grans dimensions, essent molt probablement definides les limitacions del procés, degut a que és una tecnologia molt nova.

1.5.4- Característiques generals dels digestors

En general, els digestors convencionals, són de fàcil manipulació i escassa despesa en manteniment. El problema resideix en que proporcionen temps de retenció molt llargs i baixes conversions de matèria orgànica a metà. Per aquestes raons els digestors anaerobis convencionals treballen amb grans volums de digestió.

Els digestors anaerobis d'alta velocitat, en canvi, són tot el contrari. Aquests esdevenen molt més complexes i les seves despeses en instal·lació i manteniment són molt més elevades. Com a avantatge, gaudeixen de temps de retenció bastant baixos, grans produccions de metà i una bona reducció de la matèria orgànica del residu.

1.5.4.1- Selecció del digestor pel projecte

L'objectiu del projecte és dissenyar una planta d'obtenció de biogàs a partir de purins a l'interior d'una explotació porcina. Pel procés d'obtenció de biogàs és necessari un digestor anaerobi. A continuació es determina el tipus de digestor més adient per la planta:

- Es comparen els diferents tipus de digestors d'alta velocitat. D'entrada s'eliminen els digestors de dues etapes per l'encariment que suposa la construcció i el manteniment dels dos recipients d'aquest tipus de digestor.
- També es deixen de banda els digestors d'alta velocitat basats en la retenció de biomassa sense suport per la facilitat en que s'acumularia en ells una gran quantitat de sòlids inerts que els faria ineficaços en un temps molt breu.
- Entre els digestors d'alta velocitat basats en la fixació de bacteris sobre un suport es decanten els de llit fluiditzat per la dificultat que comportaria pel granger el control d'un digestor d'aquesta mena i per l'elevada despesa d'energia pel manteniment de la fluidització.
- Els biofiltres i els digestors de pel·lícula fixa es comparen i s'observa que els primers són adequats per tractar residus sense sòlids suspesos pel perill que representen les possibles obturacions en el medi filtrant.
- Finalment, s'arriba a la conclusió que els digestors d'alta velocitat més avantatjats són els de pel·lícula fixa i flux descendent, pel fet de no retenir sòlids inerts, no presentar possibles obturacions, proporcionar temps de retenció baixos i elevades produccions de gas i gaudir d'una bona eliminació de matèria orgànica.

1.5.4.2- Indicadors útils en el seguiment d'un digestor

Per a portar a terme el procés de digestió dels purins, s'ha de tenir en compte una sèrie de paràmetres així com seleccionar el tipus de procés de fermentació més adequat.

- Paràmetres a destacar per al seguiment d'un digestor:

- La reducció en el rendiment de metà: hauria de ser de l'ordre de 0,34 a 0,36 m³ per Kg de DQO eliminada a 35 °C.

- Els AGV, no haurien d'excedir els 500 mg/l aproximadament d'àcid acètic equivalent. L'aparició d'àcid propiònic indica el començament de la desestabilització del digestor.

- La caiguda del pH per sota dels valors normals està relacionada amb l'aparició dels AGV a nivells tòxics, sobre tot en el cas de que es tracti de medis molt tamponats, per la qual cosa s'aconsella no realitzar únicament el control del pH, sinó que és molt convenient realitzar anàlisis periòdiques del contingut d'AGV del digestor.

- La disminució de la capacitat depuradora del sistema (reducció de la DQO) i la incapacitat de respondre a les necessitats d'aturades i posades en marxa o d'entrada sobtada de materials tòxics.

- Selecció del procés de fermentació

Per tal de seleccionar el procés de fermentació més adequat per a la digerir els purins interessa bàsicament l'última etapa, l'anomenada metanogènesi. Aquesta pot ser definida com un procés pel qual diferents substrats poden ser transformats a biogàs ric en metà, CH₄.

L'elecció del tipus de procés convenient estarà en funció de la naturalesa i de les propietats del substrat que s'haurà de fermentar o biometanitzar.

D'aquesta manera hi ha diferents sistemes de digestió metànica sota els quals s'ha d'efectuar l'el.lecció, són els següents:

a) Sistemes de medi no renovable:

- Batch: alimentació única.
- Fed-batch: alimentació dividida en el temps.

b) Sistemes de medi continu:

- De mesclat perfecte: molt utilitzat pel tractament de residus líquids de procedència ramadera, industrial i urbana.
- D'acumulació de biomassa activa.
- D'una o dues etapes.

Alhora també s'ha de tenir en compte els diferents tipus de perfils fermentatius anaeròbics. El perfil àcid és característic dels vegetals no llenyosos mentre que el perfil de fermentació neutre és propi dels residus bovins i dels fems, sobretot els bovins. S'observa que quan un perfil de fermentació àcida està fortament marcat, encara que es pot neutralitzar, el substrat retornarà contínuament al seu estat de perfil àcid.

Tipus de perfils fermentatius anaeròbics:

a) Perfil àcid:

- Predomini d'àcid làctic (pH 4,5).
- Predomini dels àcids grassos volàtils (pH 6,5).

b) Perfil neutre:

- Predomini d'àcids grassos volàtils (pH 6,5 - 7,5).
- Predomini d'etanol.

Un altre criteri d'elecció resideix en l'estat físic del substrat, aquest es resumeix bàsicament en:

- a) Estat semi-sòlid: aquest estat és essencialment no bombejable.
- b) Estat semi-líquid: és bombejable i conté poques matèries decantables. A més conté matèries seques amb una concentració igual o inferior al 4 %.
- b) Estat líquid: totalment bombejable, conté freqüentment quantitats apreciables de matèries decantables. També posseeix una concentració de matèria seca, superior o igual al 4 % (pes/volum).

L'agitació i calefacció són dos sistemes mecànics utilitzats pel control dels paràmetres de la fermentació anaeròbia. Al punt 3.2 del projecte es detallen aquests dos sistemes.

2- Els purins i la seva problemàtica a la comarca d'Osona

2.1- Característiques dels purins i tractaments

Abans de definir en el concepte de purins i els seus tractaments en general, convé conèixer els tipus de residus ramaders que es generen en la ramaderia així com les seves característiques.

2.1.1- Residus ramaders

A Catalunya, la producció de residus ramaders ha anat creixent no solament per l'augment del nombre d'explotacions, sinó també com a conseqüència de la seva modernització, tot cercant una reducció de costos, almenys en els aspectes que pertocuen a l'evacuació i neteja de les granges. Una altra manera d'anomenar residus ramaders és referir-se a dejeccions ramaderes.

L'escassetat relativa de terres agrícoles i la falta d'aigua han provocat una ramaderia intensiva, basada en pinsos compostos i desvinculada de la terra, mentre que per la seva part, la terra agrícola intensificava també la seva producció reduint al mínim el temps de guaret o improductiu.

La concentració de determinades produccions ramaderes en unes zones concretes han portat a un desequilibri entre la producció i la necessitat d'adobs orgànics. El ramader, agricultor o no, conscient de la riquesa del fem com a aliment per a les plantes, ha intentat distribuir el producte per les zones més properes a la seva explotació per aportar als diferents cultius una font nutritiva complementària. Això ha produït que algunes zones s'hagin mineralitzat per un excés d'adob químic, per manca d'adob orgànic.

La no regulació de la utilització d'adobs orgànics, sobretot en el cas dels purins, ajuda a la contaminació de les aigües, augmentant els índexs d'amoníac, zinc, fòsfor, bacteris patògens,... Essent també contaminades les pròpies terres que reben un excés de fems i poden quedar estèrils i no aptes per al cultiu.

Dit això, i admetent que la ramaderia és una font de riquesa, s'ha de contemplar globalment l'assumpte, per tal de reduir o evitar els problemes que poden tenir degut a una utilització inadequada.

En primer lloc, cal insistir que els fems i purins no són un residu irreciclable, sinó un producte orgànic transformable i incorporable a la cadena tròfica sense cap mena de reserva. Per tant, realitzant un esquema i una organització es podrien trobar les solucions més convenients.

Cal conèixer les necessitats fertilitzants absorbibles arreu del territori per mitjà dels corresponents estudis, incloent-hi l'estat dels aquífers i reserves més pròximes d'aigua, per tal d'evitar la seva contaminació.

Actualment s'estan estudiant i desenvolupant diferents processos mecànics i químics per reduir el volum i el poder contaminant dels residus ramaders, alguns d'ells ja es troben en funcionament de manera experimental.

S'observa doncs que els residus ramaders més que un problema poden ser un recurs aprofitable si s'utilitzen correctament. A això s'hi ha d'afegir la mentalització social, mitjançant el coneixement i el respecte a la natura, ja que qualsevol acció en aquest sentit repercuteix en el benestar col·lectiu.

2.1.1.1- Tipus de residus ramaders

- Residus sòlids: El **fem** és una barreja d'excrements animals, orina, jaç, aliment i quantitats d'aigua variable. La ramaderia bovina, ovina i equina són els principals generadors de fem.
- Residus pastosos: Són **fems** que provenen d'explotacions ramaderes avícoles que treballen sense jaç: les gallinasses.

- Residus líquids: Són fems molt diluïts. Es troben en explotacions que no treballen amb jaç, i que els recullen junt amb l'aigua de beguda i la de neteja. S'acostumen a identificar com a **purins**. S'associa generalment amb les explotacions porcines, encara que en les granges de vedells existeixen també aquests residus. La principal característica és el seu baix nivell de matèria seca, la qual oscil·la entre un 2 i un 15 %.
- Animals morts: Les baixes que es produeixen en les explotacions ramaderes són un greu problema pel ramader, ja que a part de les pèrdues econòmiques se li genera un altre residu el qual si no es gestiona amb rapidesa pot crear infeccions greus.
- Residus no valoritzables: Són els residus generats per l'activitat ramadera que s'han de portar a un abocador controlat. A grans trets són: *residus assimilables a domèstics* (sac de pinso, draps, papers, cartrons, plàstics...), *residus especials* (les restes dels productes zoosanitaris, insecticides, raticides o pesticides) i *altres residus* (ferralla, neumàtics, runes i materials de construcció, fusta...).

A continuació es mostren les dades obtingudes pel Consell Comarcal d'Osona referents a la producció que genera cada animal de fems i purins segons les categories dels diferents tipus de bestiar (taula 2a)

Tipus de bestiar		Producció Unitària	
Porcí	Garrí	0,065	L/kg PV/dia
	Engreix	0,0825	L/kg PV/dia
	Reproductor	0,069	L/kg PV/dia
Vaquí	Vaquí llet	0,088	kg/kg PV/dia
	Vaquí de carn	0,057	kg/kg PV/dia
	Toro	0,057	kg/kg PV/dia
	Vaquí de cria	0,063	kg/kg PV/dia
	Vaquí de recria	0,057	kg/kg PV/dia
	Vaquí d'engreix	0,063	kg/kg PV/dia
Oví	Reproductor	0,036	kg/kg PV/dia
	Engreix	0,036	kg/kg PV/dia
Conills	Engreix	0,12	kg/kg PV/dia
	Reproductor	0,12	kg/kg PV/dia
Aviram		0,064	kg/kg PV/dia

Taula 2a. Producció de fems i purins per animal segons les categories dels diferents tipus de bestiar, (Nota: PV significa Pes Viu)

A la següent taula es mostra la composició dels fems i purins segons les categories dels diferents tipus de bestiar considerats anteriorment (taula 2b).

Tipus de bestiar		Composició			Unitats
		Nitrogen	Fòsfor	Potassi	
Porcí	Garrí	6,91	5,85	2,12	% MS
	Engreix	8,44	6,54	5,39	% MS
	Reproductor	8,32	6,50	6,13	% MS
Vaquí	Vaquí llet	2,76	1,29	2,56	% MS
	Vaquí de carn	4,71	2,87	3,46	% MS
Oví		4,00	1,52	3,84	% MS
Conills		2,53	2,92	1,87	% MS
Aviram		9,5	6,5	4,0	% MS

Taula 2b. Composició dels fems i purins segons les categories dels diferents tipus de bestiar (nota: MS significa Matèria Seca)

2.1.1.2- Característiques dels residus ramaders

Per a un correcte tractament dels residus ramaders cal conèixer les següents característiques:

- Paràmetres físics: % humitat, densitat...
- Paràmetres químics: pH, DQO (Demanda Química d'Oxigen), contingut en nutrients (N, P, K), morfologia (orgànica, mineral...), contingut en C, Zn, relació C/N, conductivitat elèctrica...
- Paràmetres biològics: DBO (Demanda Biològica d'Oxigen), existència de microorganismes patògens,...

Per tal de decidir quina utilitat es dona a tot aquest conjunt de residus, cal tenir en compte que cada explotació té una composició variable i diferent. Els residus no tenen una composició estàndard.

Generalment, els residus sòlids solen oscil.lar entre el 30 i 50 % en matèria seca (MS), factor molt important per a la seva posterior valorització com a fertilitzant i pel seu maneig (escampat).

En el cas dels residus ramaders pastosos, el 5 % de secatge depèn del sistema d'explotació de la granja, però el contingut en matèria seca oscil.la entre el 15 i el 30 %. En el residus líquids la principal característica és el baix contingut en matèria seca, els purins poden oscil.lar entre el 2 i el 15 %.

A la següent taula s'expressa la composició mitjana dels residus ramaders segons alguns paràmetres:

Composició mitjana dels residus ramaders				
Paràmetres	Boví	Oví	Porcí	Aviram
Sòlids Totals (%)	34	45	5	15
Sòlids Volàtils (%)	17	28	3	10
Nitrogen (mg/l)	5	8	5	13
Fòsfor (mg/l)	2	8	2	10
Potassi (mg/l)	3	10	3	7
DBO ₅ * (mg/l)	30	33	30	70

Taula 2c. Composició mitjana dels residus ramaders

DBO₅* : Demanda Biològica d'Oxigen a 5 dies

S'ha de tenir en compte que tots els valors bibliogràfics són orientatius ja que les característiques reals dels residus ramaders depenen, no solament del tipus de residu sinó que també depenen de les operacions d'explotació, ja que aquestes poden diferir d'unes a altres en aspectes com: el volum d'aigua de rentat utilitzada, l'alimentació, l'ús de productes sanitaris, els desinfectants,...

Després de conèixer els diferents tipus de residus ramaders, a continuació es detalla el residu ramader que es tracta en el projecte: els purins.

2.1.2- Característiques dels purins

Els excrements dels porcs, com qualsevol residu orgànic net de contaminants (no es considera si els porcs reben massa metalls pesants com Zn i Cu, o massa antibiòtics) és un producte interessant com a adob orgànic. Malgrat això, es parla a vegades de contaminació per purins. La contaminació que pot provocar el purí és de causa quantitativa i qualitativa.

Se sap que els causants de la contaminació poden ser qualitatiu i quantitatiu:

- Es parla de causants qualitatiu quan s'introdueix al medi una substància artificial que no existeix a la natura, o quan es posa una substància natural en un medi que no li és propi.
- Es parla de causants quantitatiu quan s'introdueix una substància natural en un medi que li és propi, però s'introdueix en quantitats excessives.

L'excés de purí, i més concretament l'excés de nitrogen, pot provocar contaminacions greus a l'atmosfera i sobretot a aigües superficials i subterrànies.

Cada porc produeix diàriament entre 4 i 7 l de purí. Però no és que el porc sigui un animal que excreti tant de líquid. El purí és bàsicament el resultat de netejar els excrements més o menys sòlids dels porcs amb aigua a pressió.

L'adobat dels camps amb residus orgànics es calcula, en principi, a partir dels nutrients més importants, especialment el nitrogen. Es fa un balanç del nitrogen que necessita el conreu, el nitrogen que ja hi ha al sòl i la concentració de nitrogen que conté el residu. Segons això se sap quantes tones de residu es poden aportar en una hectàrea o, el que és el mateix, en quina superfície mínima es pot aplicar una determinada quantitat de residu.

Els adobs orgànics tenen un benefici molt important per a la sostenibilitat dels sòls, però cal que no siguin frescos sinó que han d'estar estabilitzats en forma de matèria orgànica madura. Aconseguir matèria orgànica madura implica passar per un procés de descomposició dels biopolímers i un procés de formació de substàncies húmiques.

La descomposició es pot donar en condicions aeròbiques (presència d'oxigen) i aleshores es parla de compostatge, o es pot donar en condicions anaeròbiques (absència d'oxigen) i en aquest cas es parla de metanització. La maduració de la matèria orgànica, més pel compostatge que no pas per la metanització, destrueix totalment o parcial els patògens que contenen els excrements. Els patògens també poden ser eliminats escalfant el residu a temperatura elevada, per exemple durant un procés d'assecat.

El purí té un 95 % d'aigua, la qual cosa dificulta el seu transport, ja que no és un producte fertilitzant concentrat sinó diluït. Cal moure més volum i això sempre és més car. No obstant, l'aigua és un element extremadament preuat a les nostres condicions climàtiques, i molt sovint esdevé el factor limitant que impedeix millorar les collites. Sovint el purí ajuda a millorar el rendiment d'un conreu, més per l'aigua que aporta que no pas pel nitrogen i altres nutrients que conté.

Tenint en compte això, cal tenir present una sèrie de característiques del purí:

- Quantitat de nutrients, principalment N
- Maduresa del residu orgànic
- Patògens
- Quantitat d'aigua
- Optimització del seu transport

Per altra banda, hi ha altres característiques dels purins que convé tenir molt en compte:

- ✓ Enorme variabilitat
- ✓ Alta salinitat (sobretot clorurs i sulfats)
- ✓ Contingut en elements potencialment tòxics: metalls pesants i microcontaminants orgànics (medicaments, desinfectants, pesticides, etc.).

Segons les dades obtingudes a partir de la bibliografia (“Zootècnia bàsica aplicada”), la producció mitjana/dia de fems en kg de fems/cap/dia (amb jaç) i de purins en litres de purí/cap/dia seria la següent:

PRODUCCIÓ MITJANA/DIA		
	Kg fems/cap/dia	L/purí/cap/dia
Porcs d'engreix (20-50 kg PV)	4.0	3.5
Porcs d'engreix (50-100 kg PV)	7.0	6.5
Porc mascle reproductor (> 140 kg PV)	11.0	10.0
Truja seca (> 140 kg PV)	11.0	10.0
Truja gestant (> 150 kg PV)	13.5	12.0
Truja amb garrins (> 150 kg PV)	18.0	16.0

Taula 2d. Producció mitjana/dia de fems i purins

(Nota: PV significa Pes Viu)

2.1.2.1.- Composició dels purins

Una de les característiques dels purins és que la seva composició heterogènia i variable depèn, en gran part, del sistema de maneig de les explotacions, alimentació, estat fisiològic, època de l'any i sistema d'emmagatzematge entre d'altres.

Existeix una diversitat important en els resultats que s'estableixen en la composició dels purins. Els valors presenten una certa variabilitat tot i que es poden prendre de referència, indicatius de composició.

Aquesta variabilitat és principalment deguda a dos factors:

- L'alimentació
- Les condicions de maneig a l'explotació ramadera

A la següent taula 2e es mostra la composició dels purins segons el tipus d'exploració referents a la comarca d'Osona:

Composició dels purins			
Concepte/unitats	Tipus d'exploració		
	Engreix	Cicle tancat	Maternitat
Matèria Seca (kg/m ³)	74,92	68,40	46,17
Matèria Orgànica (kg/m ³)	47,36	50,00	31,20
Matèria en suspensió (mg/l)	35.731,20	59.129,80	19.813,50
DBO ₅ (mg/l)	24.370,00	25.603,60	22.387,10
DQO (mg/l)	47.594,00	46.358,00	43.638,00
N _{TK} (kg/m ³)	4,45	4,30	4,00
N _{amoniaca} (kg/m ³)	3,07	3,60	3,10
N _{orgànic+nítric} (kg/m ³)	1,38	0,70	0,89
P _{total} (kg/m ³)	1,43	1,15	0,65
K (kg/m ³)	3,36	2,09	2,30
Conductivitat (µS/cm)	39.243,80	35.641,75	35.198,20
pH	7,38	7,20	7,55

Taula 2e. Composició química mitja dels purins de porc en funció del tipus d'exploració

2.1.3- Tipus de tractaments dels purins

Després de veure la composició dels purins, anem a veure quins són els possibles tractaments que hi ha en l'actualitat. Abans però, es valoren alguns tractaments aplicats fins ara.

- Valoració d'alguns tractaments de purins

A continuació es valoren alguns tractaments i manejos possibles o tradicionals dels purins, fixant-nos en les característiques: quantitat de nutrients (principalment N), maduresa del residu orgànic, patògens, quantitat d'aigua i optimització del seu transport.

a) Tractament tradicional

Antigament, les corts dels porcs no es netejaven amb aigua sinó amb pala manual. El fem barrejat amb palla es deixava compostar d'una manera més o menys descontrolada durant uns mesos i posteriorment es feia servir per adobar els camps.

Es valora aquest sistema respecte dels paràmetres anteriorment esmentats:

- Quantitat de nutrients més o menys íntegra (pèrdua de nutrients escassa). Nutrients més equilibrats gràcies a l'aport de la palla. Aquests nutrients donen per adobar una superfície x.
- Maduresa probable però no garantida de la matèria orgànica dels residus.
- Presència probablement baixa de patògens.
- Sense aigua.
- Transport més òptim degut a l'absència d'aigua.

b) Maneig fruit de la intensificació

Amb la intensificació de les explotacions porcines, es va implantar la neteja amb aigua a pressió. Això, juntament amb el major nombre de caps de bestiar, limita el nombre de mesos en què els residus (purins) es poden tenir a les granges. Això també ha comportat una disminució de la maduresa dels residus que són aplicats al camp, amb els inconvenients associats sobre els conreus, sobre el sòl i sobre la fauna salvatge, ja que són residus que per la seva escassa maduresa poden contenir nombrosos patògens.

Valoració d'aquest sistema:

- A les basses de purins, petita pèrdua de N per emissions contaminants a l'atmosfera (òxids de nitrogen N_2O i NO , i amoníac) i per nitrificació-desnitrificació. Els nutrients donen per adobar una superfície pràcticament igual a x.
- Maduresa improbable de la matèria orgànica dels residus.
- Presència probablement alta de patògens.
- Quantitat molt important d'aigua.
- Major volum i pes a transportar degut a la presència d'aigua.

c) Opció que es planteja a l'actualitat

L'opció que més s'ha estès darrerament és la **deshidratació dels purins en plantes de cogeneració**, deixant de banda altres alternatives com la digestió anaeròbia dels purins que és la que es planteja en aquest projecte. Les plantes de cogeneració cremen gas natural i, amb la calor de la combustió, produeixen electricitat i assequen purins.

La cogeneració és una tecnologia molt eficient quan es donen les condicions d'existència d'una demanda de calor i electricitat en un mateix procés o en processos molt propers, però aquest no és el cas dels purins.

La rendibilitat (capacitat de tractament de purí per potència generada) està establerta actualment entre 4.500 m^3 (en el cas menys eficient, quan es desaprofita més la calor generada) i 14.500 m^3 (en el cas més eficient) de purí per cada MW generat.

Assecar els purins és l'excusa per poder generar electricitat amb gas natural, la qual cosa actualment està molt ben pagada degut a la política estatal de subvencions (3,7 pta/kWh produït per cogeneració). Per això no importa si la planta és ineficient o si està sobredimensionada. Això també explica que algunes plantes de cogeneració plantegin instal·lar-se en comarques que no tenen un excedent de caps de porcí, on n'hi hauria prou amb una senzilla distribució del purí.

Les instal·lacions de cogeneració són d'inversió inicial elevada, que estaria justificada si fossin una solució real i ambientalment correcta. Pot passar que en relativament pocs anys deixin de funcionar si deixen de ser tan rentables econòmicament: el gas natural, amb preu en alça, pot apujar-se significativament, tal com ha passat als EEUU, i les subvencions públiques per cogeneració poden disminuir. Podem trobar-nos en un futur no llunyà amb unes infraestructures inútils.

Una planta de cogeneració necessita que arribi fins a ella una xarxa de distribució de gas natural i una xarxa d'evacuació d'electricitat. Normalment cal construir línies d'uns 20-30 km fins als punts de connexió. La construcció d'aquestes infraestructures també té un impacte ambiental a tenir en compte.

Les plantes de cogeneració poden emetre males olors degudes a l'evaporació d'amoníac i altres substàncies volàtils com ara àcid sulfhídric, àcids orgànics de cadena curta, amines, etc.). Si s'escalfen els purins i s'evapora la seva humitat, s'està facilitant l'emissió d'olors. Tot i fer un control dels gasos de la deshidratació, els escapaments d'olors seran més freqüents i intensos que si es tracten els purins a temperatura ambient i se'n extreu la humitat per altres mètodes. Per altra banda no és negligible l'impacte per sorolls.

A les plantes de tractament tèrmic de purins existents a Catalunya no s'acompleix el compromís de l'administració de recuperar el 95 % de l'aigua obtinguda i d'utilitzar-la per al reg.

Valoració de les plantes de cogeneració amb purins respecte les característiques del purí:

- Poden haver-hi pèrdues de N per emissions contaminants a l'atmosfera (òxids de nitrogen i amoníac) i per nitrificació-desnitrificació. Aquests nutrients donen per adobar una superfície lleugerament inferior a x. Si, tal i com hauria de ser, es recuperen les emissions gasoses de nitrogen, en forma per exemple de clorur d'amoní, aquesta sal es pot comercialitzar amb finalitats industrials com ara la fabricació d'adobs químics que s'aplicaran en una superfície y.
- Matèria orgànica dels residus immadura.

- Absència de patògens si els fangs són assecats a temperatures de més de 60 °C.
- Sense aigua.
- Transport més òptim degut a l'absència d'aigua.

El guany més important que suposen les plantes de cogeneració de purins és la de concentrar el residu, permetent així que es pugui aplicar en un radi major amb uns costos de transport raonables, tot i que probablement s'haurà de diluir de nou just abans de l'aplicació per evitar salinitats excessives. Els costos de transport haurien de ser un reflex del consum energètic que implica. Per altra banda, les plantes de cogeneració assequen fangs a base de consumir energies fòssils com és el gas natural.

De manera que es gasta energia per tal d'estalviar energia en transport. Aniria bé tenir un balanç energètic i de cicle de vida d'aquest procés, però d'entrada ja sembla totalment contradictori gastar energia per tractar un residu, quan aquest residu conté energia aprofitable per metanització. La metanització genera biogàs que conté metà (de 23 a 33 m³ de metà per tn de purí).

2.1.3.1- Classificació dels tractaments

Els tractaments agrupen totes les accions de transformació per diferents medis: físics, químics i biològics. Segons l'acció efectuada, els tractaments poden tenir l'efecte de modificar: la composició química i biològica del substrat (amb eliminació de certs components) i la presentació física (controlant la composició de les fases en que es pot separar el residu inicial).

La classificació dels tractaments dels purins és difícil ja que depèn de l'objectiu final que es vol aconseguir. Sovint cal una combinació de processos de tractament en una mateixa instal·lació per tal d'aconseguir el seu objectiu final.

Cada tractament arriba fins a un punt determinat de depuració i, en funció de les característiques físico-químiques del líquid resultant, es pot aconseguir el permís d'abocament pel purí tractat en un medi receptor (llera pública, claveguera, col·lector,...) o només es pot utilitzar per a regar els cultius.

El líquid aquest només es pot abocar a la llera pública si ajusta els seus valors als que estableixen la Llei 29/1985, de 2 d'agost, d'Aigües i el Reial Decret 849/1986, d'11 d'abril, d'aprovació del reglament del Domini Públic Hidràulic. Ambdues disposicions indiquen els valors permesos per a realitzar un abocament i la forma d'aconseguir el corresponent permís.

A mesura que van sortint problemes referents a la impossibilitat d'aplicació, segons la magnitud d'aquests problemes s'ha d'anar actuant en el mateix sentit.

En ordre creixent d' intensitat seria:

- Sistemes de condicionament i desodorització.
- Sistemes de depuració parcial.
- Sistemes de depuració completa.
- Sistemes de residu "zero".

En definitiva, aquestes serien les actuacions bàsiques per reduir (o eliminar) el nitrogen dels purins. S'ha de fer constar que en les circumstàncies actuals no sembla possible un vessament de l'afluent a la llera pública, per diferents raons, en tot cas, a més, s'hauria de considerar altres paràmetres (DBO, DQO, metalls, ...). En efecte, seria molt difícil (per no dir impossible) l'autorització per part de les autoritats competents. Per l'elecció dels tractaments concrets a aplicar s'haurà de tenir en compte una sèrie de criteris generals. Aquests són els següents:

- Eficiència en el procés de depuració: reduir la concentració de nitrogen fins el nivell desitjable segons sigui la problemàtica inicial i l'objectiu en arribar a la sortida (afluent i/o residu).
- Exigències infraestructurals per a la instal·lació: necessitat de sòl (superfície i característiques), línies elèctriques, aigua i altres recursos, logística, etc.
- Volum de purí a tractar, per les economies d'escala que porta implícita i per les exigències de determinats sistemes (plantes) d'un volum mínim de capacitat per resultar viable.
- Costos d'exploració i/o manteniment, que siguin assumibles pel granger que es qui finalment haurà de pagar (directa o indirectament).

- Característiques de la pròpia tecnologia. Que causi els menors impactes possibles (impacte d'olors, impacte ambiental, etc.).
- Inversió. A més de la magnitud de la mateixa haurà de valorar el possible interès d'iniciativa privada que assumeixi el risc i l'explotació. La rendibilitat de la planta serà un factor clau.
- Interès de caràcter públic. Quant siguin sistemes o tecnologies que rebin ajudes públiques per un interès social, medioambiental, etc.
- Altres criteris: tipus de gestió de la planta, facilitat d'utilització, eficàcia contrastada, etc.

Els sistemes de tractament pels purins es poden desglossar en quatre grups:

2.1.3.1.1- Pre-tractaments:

- Separació sòlid-líquid:

Té com a objectiu rebaixar al màxim la càrrega orgànica per a l'obtenció d'un efluent el menys contaminat possible. Es pot portar a terme per mitjà de centrifugació, tamisatge o bé altres sistemes. El primer sistema de separació es basa en el diferent pes dels elements que componen l'efluent i en la força centrífuga. La disminució de la càrrega contaminant es pot establir entre el 40 % i el 60 % dels sòlids totals de l'efluent, i el grau de sequedat que presenta la fracció sòlida separada pot oscil·lar entre un 24 % i un 37 %.

La tècnica del tamisatge consisteix a fer passar el purí per un medi físic (una làmina metàl·lica perforada), que reté les partícules que superen la mida del forat del tamís. Hi ha diferents tipus de tamisos, entre d'altres el vibratori (amb un diàmetre de separació de partícules de 0.5 mm), el de tambor o rotatiu (el purí és filtrat a través d'una malla dotada de moviment rotatiu sobre la qual les matèries sòlides són aturades i arrossegades per la rotació del cilindre fins a topar-se amb un rasclador que les treu del filtre) o el de filtre-premsa (basat en el principi del tamisatge ajudat per l'acció d'un corró que premsa, que permet escórrer la matèria seca del purí).

Un cop aplicat el sistema de tamisatge, la fracció sòlida presenta una sequedat compresa entre el 15 i el 25 %. La separació de sòlids per tamisatge té un rendiment inferior que la separació per centrifugació, però és molt més econòmica.

Dintre dels altres sistemes de separació de la fracció sòlida s'hi poden destacar els filtres per extrusió o per pressió (basats en un sistema de vis sense fi que arrossega el purí i va compactant la matèria seca) i les reixes estàtiques o filtre per gravetat (adequat per a tractar pocs cabals).

- Fluïdificants i/o desodoritzants.

Els primers són productes biològics que tenen per objectiu reduir els sòlids orgànics més grollers, mentre que els segons són productes biològics (cultius bacterians, preparats enzimàtics o bé combinacions de bacteris i enzims) o químics (oxidants potents i desinfectants) que s'utilitzen per a reduir les males olors que el purí desprèn i que es poden subministrar pel pinso o realitzar aplicacions directes a les corralines (sistema de reixat), a les fosses o quan el purí es carrega en la bóta.

Aquests dos grups de productes (llevat dels químics) tenen la finalitat de digerir per via accelerada la matèria orgànica, principalment les cel·luloses no digerides per l'animal. A més a més, inicien els processos de nitrificació de l'amoniac i milloren la qualitat del purí com a fertilitzant, però no eliminen la càrrega contaminant dels purins.

2.1.3.1.2- Tractaments:

- Físico-químics:

Basats en l'addició de productes orgànics o inorgànics per aconseguir un volum de partícules sedimentades major. El tractament més habitualment emprat consisteix en la floculació, que té com a objectiu concentrar per aglomeració les partícules insolubles presents al purí i millorar així la seva ràpida decantació. Permet eliminar certs microcontaminants orgànics o minerals en forma d'agregats o flocs. Per aconseguir la formació d'aquests es necessiten agents floculants i/o coagulants.