



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria de l'energia

**PROJECTE TÈCNIC I ESTUDI DE VIABILITAT DE UNA CENTRAL
DE COGENERACIÓ ALIMENTADA PER BIOGÀS PROCEDENT
DE PURINS**



Memòria i Annexos

Autor: Sergio Algarra Aroca
Director: Francesc Estrany Coda
Co-Director: Joan Grau Barceló
Convocatòria: Maig 2021

Resum

Aquest treball fi de grau es basa en realitzar una proposta de projecte de planta de digestió anaeròbia, per tal de assentar les bases de futures línies d'estudi o projectes on la finalitat sigui una implantació real. Per realitzar aquesta proposta, es va analitzar el registre d'explotacions ramaderes de Catalunya per tal de veure on es trobava una localització amb una densitat de explotacions important; un cop seleccionada, es va estimar la quantitat de biogàs que es podia produir, quina generació elèctrica comporta, i quins son els mercats energètics on es pot vendre aquesta energia per viabilitat el projecte. S'han dimensionat els principals components de la planta per tal de poder donar una visió general a conjunt d'elements d'aquesta proposta de projecte. Un cop analitzats els mercats energètics, les despeses estimades i els ingressos per la venda d'energia, no s'han trobat hipòtesis on la planta sigui rentable, però s'obren i es proposen futures línies d'investigació, tant per la optimització de la planta com de les activitats que suposen una retribució econòmica.

Resumen

Este trabajo fin de grado se basa en realizar una propuesta de proyecto de una planta de digestión anaerobia para asentar las bases de futuras líneas de estudio o proyectos donde la finalidad sea una implantación real. Para realizar esta propuesta se analizó el registro de explotaciones ganaderas de Cataluña, para así ver donde se encontraba una localización con una densidad de explotaciones importante. Una vez seleccionada, se estimó la cantidad de biogás que se podía producir, qué generación eléctrica conlleva, y cuáles son los mercados energéticos donde se puede vender esta energía para realizar un proyecto viable.

Se han dimensionado los principales componentes de la planta con el fin de poder dar una visión general a conjunto de elementos de esta propuesta de proyecto. Una vez analizados los mercados energéticos, los gastos estimados y los ingresos por la venta de energía, no se han encontrado hipótesis donde la planta sea rentable, pero se abren y se proponen futuras líneas de investigación, tanto para la optimización de la planta como de las actividades que suponen una retribución económica.

Abstract

This degree thesis is based on a proposal of project for the pre-design of an anaerobic digestion plant, to lay the foundations for future lines of study or projects where the aim is a real implementation. To carry out this proposal, the register of farms in Catalonia was analysed to see where there was a location with a significant density of farms. Once selected, the amount of biogas that could be produced was estimated and so on the electricity generation; it is also studied which energy markets could this energy be sold in order to make the project viable.

The main components of the plant have been dimensioned in order to be able to give an overview of all the elements of this project proposal. Once the energy markets, estimated costs and income from the sale of energy have been analysed, no hypotheses have been found where the plant is profitable. Future lines of research are opened up and proposed, both for the optimisation of the plant and of the activities that involve economic retribution.



Agraïments

Agraïments especials a en Francesc i en Joan, per tot el suport i ajuda brindat durant la realització d'aquest treball. La seva ajuda ha estat indispensable per poder portar endavant aquest treball final de grau.

Voldria agrair a tota la família i amics la seva implicació emocional en aquells moments on no em quedaven forces.

Índex

RESUM	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
AGRAÏMENTS	IV
1. INTRODUCCIÓ	3
1.1. Objectius del treball	3
1.2. Abast del treball	3
2. INTRODUCCIÓ AL PROJECTE	5
2.1. Biogàs	9
2.1.1. Reacció i procés	12
2.1.2. Paràmetres a controlar	13
2.1.3. Necessitats microbianes de la reacció	15
2.1.4. Optimització de la reacció. Codigestió	16
2.2. Planta de gestió de residus	16
2.2.1. Identificació idoneïtat planta	17
2.2.2. Elements de la planta	21
2.3. Planta de cogeneració	22
2.4. Marc Normatiu	25
2.4.1. Explotació de residus	25
2.4.2. Marc energètic	28
3. ENGINYERIA DEL PROJECTE	37
3.1. Consideracions inicials	38
3.2. Biogàs	39
3.2.1. Caracterització dels paràmetres	39
Sòlids Volàtils (SV):	40
Sòlids Totals (ST%):	40
M ³ CH ₄ /kg SV:	41
Relació C/N:	41
Velocitat de càrrega orgànica i Temps de retenció hidràulic	42
3.2.2. Producció de biogàs	44
3.2.3. Reformulació de la composició de la mescla	47

3.3.	Necessitats tèrmiques	50
3.4.	Combustió del biogàs i emissions.....	50
3.4.1.	Combustió a la turbina de gas	53
3.5.	Elements de la planta	56
3.5.1.	Recepció de purins.....	56
3.5.2.	Digestor	57
3.5.3.	Equip de cogeneració.....	60
3.5.4.	Bescanviadors de calor	62
3.5.1.	Bescanviador per la recuperació de calor	63
3.5.2.	Bescanviador per digestor	64
3.5.3.	Pèrdues tèrmiques al digestor i espessor del aïllant.....	66
3.5.4.	Sistemes de bombeig.....	68
3.5.5.	Gasòmetre.....	75
3.5.6.	Torxa de seguretat	76
3.6.	Emissions.....	77
3.7.	Connexió elèctrica a la xarxa i energia injectada.	79
4.	AVALUACIÓ ECONÒMICA _____	84
4.1.	Definició dels paràmetres.....	85
4.2.	Subvencions	86
4.3.	Ingressos	90
4.4.	Despeses	99
4.4.1.	Inversió Inicial.....	101
4.4.2.	Cost Variable	103
4.4.3.	Costs regulats	105
4.5.	Simulació econòmica	109
5.	ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL _____	114
5.1.	Marc Legislatiu	114
5.2.	Paràmetres ambientals.....	118
	CONCLUSIONS _____	124
	PRESSUPOST I/O ANÀLISI ECONÒMICA _____	128
	BIBLIOGRAFIA _____	133



1. Introducció

1.1. Objectius del treball

Els objectius plantejats per aquest treball són els següents:

- Analitzar el potencial per desenvolupar una planta de cogeneració en aquells llocs on existeix el potencial de poder obtenir els residus necessaris per produir el suficient biogàs.
- Anàlisi del funcionament de una planta de gestió de residus.
- Aprofundir en el coneixement de la gestió de residus.
- Dimensionar els principals elements de la planta de gestió de residus i de la planta de cogeneració.
- Anàlisi dels mercats energètics.
- Anàlisi de les oportunitats econòmiques que sorgeixen en el mercat de l'energia.

Aquest treball no pretén doncs ser la descripció una instal·lació 'real', és a dir, no plasma una instal·lació que estigui sent construïda o que es construirà en base aquest treball; el que és pretén amb aquest treball és obrir la porta a l'estudi de la viabilitat de una planta de cogeneració alimentada per biogàs procedent de la mateixa planta. És a dir, en aquest treball es dimensionaran els principals components que hauria de tenir tant la planta de gestió de digestió anaeròbia com la planta de cogeneració (integrades ambdues en la mateixa planta) per a poder realitzar un anàlisi de quines oportunitats en el mercat energètic sorgeixen per a una planta de cogeneració de una determinada potència.

Com és una proposta de projecte que no es realitza per a cap client o ubicació concreta, un dels objectius és també analitzar quins són els llocs disponibles a Catalunya més idonis per a la implantació de la mateixa o almenys quines característiques ha de complir el lloc on es vulgui implantar.

En definitiva, es pretén construir un exemple de que es podria fer i quin encaix té al mercat energètic amb les opcions actuals existents.

1.2. Abast del treball

El fet de no descriure una instal·lació real, sinó que és una proposta de projecte, fa que moltes variables i/o paràmetres quedin per definir. S'intentarà doncs adoptar les hipòtesis que facin que el treball presenti la major veracitat possible, però no es pot assolir el màxim nivell de veracitat en tots els

paràmetres definibles. A la vegada, hi ha paràmetres i variable que en una instal·lació real s'haurien de definir però que no hi aporten tant valor en una proposta de projecte com aquesta.

És per això, que en línia amb els objectius plantejats, es definirà l'abast del treball:

- Explicació del procés de digestió, necessari per obtenir el biogàs.
- Descripció i justificació dels residus utilitzats.
- Descripció tècnica bàsica dels principals elements que componen tant la planta de digestió com la de cogeneració.
- Anàlisi de les activitats retribuïbles
- Introducció a les principals variables econòmiques i possibles subvencions

En definitiva, tots els elements necessaris per a un futur desenvolupament d'aquesta proposta o per el desenvolupament d'alternatives viables.

2. Introducció al projecte

Que avui dia és necessari transicionar cap un model energètic descarbonitzat és un fet reconegut per la gran majoria de societats i països, per aconseguir l'objectiu d'un desenvolupament sostenible; en aquest sentit es va promoure l'Agenda 2030, on els països participants inclòs Espanya es van comprometre amb la societat i planeta del futur. Una societat on els models productius estiguin en harmonia amb la capacitat dels recursos i l'energia sigui d'origen renovable i sostenible, a més de diferents objectius de benestar social. Entre els disset diferents objectius podem destacar els objectius 7, 12 i 13, que tracten sobre energia no contaminant, producció i consum responsable i acció enfront el canvi climàtic. [(1)] [(2)]

Si hom consulta l'article 22 de la *Llei 16/2017, d'1 d'Agost*, del Parlament sobre el canvi climàtic [(3)], es disposa el següent:

'Les mesures que s'adoptin en matèria de residus han d'anar encaminades a reduir la vulnerabilitat de la població i les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, prioritzant l'estratègia de residu zero a fi d'estalviar material i de reduir-ne el processament, especialment en la reducció i penalització dels productes envasats amb un ús intensiu de combustibles fòssils'

Més concretament, en els apartats b), d) i e) s'estableix el següent:

'b) L'aplicació de la jerarquia següent pel que fa a les opcions de gestió de residus: la prevenció, la preparació per a la reutilització, el reciclatge, la valorització energètica o qualsevol altre tipus de valorització i, finalment, l'eliminació.'

'd) La incorporació de mesures de reducció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle dels abocadors i l'ús de combustible procedent de residus.'

'e) La substitució de matèries primeres per subproductes o materials procedents de la valorització de residus per a afavorir la creació d'una economia circular.'

Així doncs, per reduir el canvi climàtic i aconseguir els objectius de l'Agenda 2030 cal establir estratègies d'actuació en diferents àmbits, sent un d'ells la gestió sostenible de residus.

En aquest context, el present treball de fi de grau té com a objectiu realitzar una proposta de dimensionament i anàlisi de la viabilitat d'un projecte de reaprofitament d'aquells residus que, per la seva naturalesa, siguin difícilment reduïbles o no es puguin prevenir i siguin òptims per a una valorització energètica. La finalitat de la proposta és incentivar la creació d'una economia circular al voltant dels residus i la reutilització dels mateixos residus. Per introduir la proposta primer haurem de respondre però les següents qüestions:

1. Que es considera residu?

Mitjançant el *Decret Legislatiu 1/2009*, de 21 de juliol es van refondre les quatre lleis que fins aquell moment regulaven els residus (*Llei 6/1993, de 15 de juliol, reguladora dels residus; Llei 11/2000, de 13 de novembre, reguladora de la incineració de residus; Llei 15/2003, de 13 de juny*; i finalment la *Llei 9/2008*). Així doncs aquestes lleis es van reunificar en aquesta última.

En el tercer article es donen un llistat de definicions de les que aprofitarem la definició de residu:

‘Qualsevol substància o objecte de què el seu posseïdor o la seva posseïdora es desprengui o tingui la intenció o l’obligació de desprendre-se’n’ [(4)]

Dintre d’aquesta definició es poden englobar residus de molts i diferents orígens, primer però, es classificaran totes les variants de ‘residu’.

2. Quins residus hi ha?

Segons l’*Agència de Residus de Catalunya (ARC)*, els diferents tipus de residu que podem trobar són els següents, recollits a la taula 1 [(5)]:

Taula 1: Categories de residus. Elaboració pròpia. Font: Agència de Residus de Catalunya

Residus municipals	Residus Industrials	Residus comercials
Residus orgànics per a valorització energètica	Runes, terres i altres residus de la construcció	Excedents de dejeccions ramaderes
Residus sanitaris	Matèria orgànica (FORM-FV)	Paper i cartró
Vidre	Residus d’aparells elèctrics i electrònics	Vehicles fora d’ús
Pneumàtics fora d’ús	Envasos	Olis industrials usats

PCB/PCT	Piles i altres acumuladors	Frigorífics i aparells amb CFC
Fluorescents i làmpades de descàrrega	Plàstics	Subproductes animals
Deixalles marines		

Per al estudi del reaprofitament dels residus, ens centrarem en aquells que es puguin ajustar a les necessitats mencionades anteriorment. Aquests doncs són els següents:

- Excedents de dejeccions ramaderes
- Residus orgànics per a valorització agrícola
- Subproductes animals

Dins d'aquest sector, un bon exemple de residu difícilment reduïble i òptim per a la valorització energètica són els excedents de dejeccions ramaderes com son els purins, (dejeccions dels porcs).

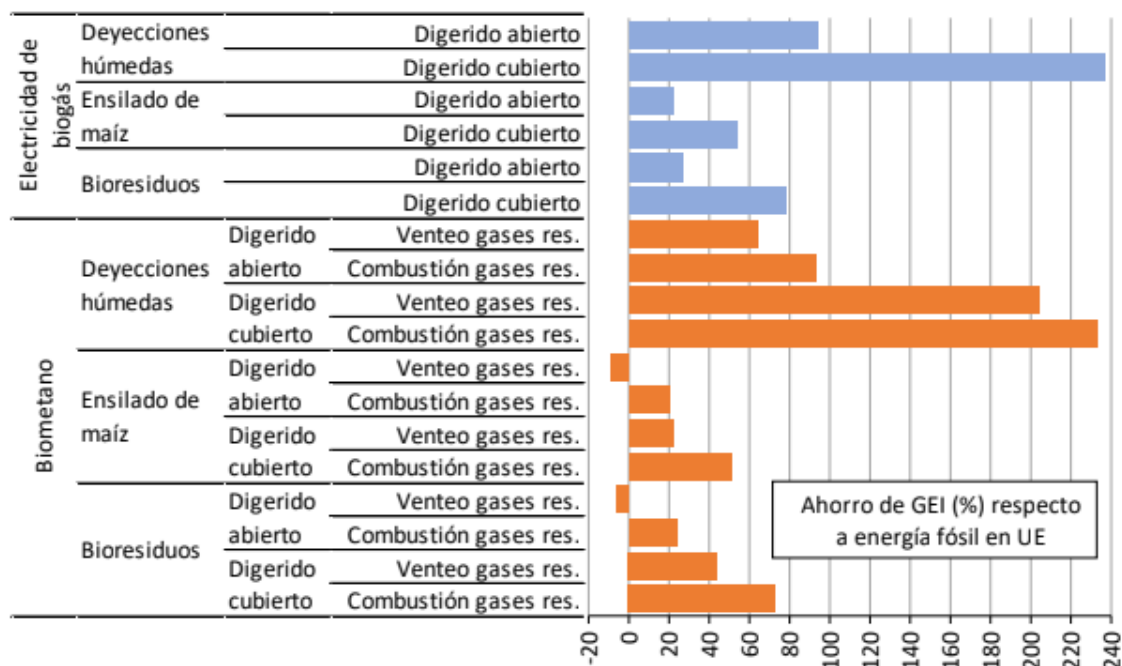
Difícilment reduïble perquè España és la quarta productora mundial de carn de porc (dades del *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*), per darrere de la Xina, Estats Units i Alemanya. Tanta és la producció, que el sector porcí representa el 39% de la producció final ramadera. [(6)] A nivell estatal, Catalunya és la cinquena comunitat amb més explotacions porcines (7 %) del total estatal, darrere de Castilla y León (11,7 %), Andalusia (14,4 %), Extremadura (15,2 %) i Galicia (32,6 %). [(7)] Tot i això, és interessant fixar-se en les dades de explotacions intensives, on Catalunya puja fins la quarta posició. En concret, la província de Lleida aplega el 56% dels caps de ramaderia porcina l'any 2018, amb 4,36 milions de porcs dels 7,778 totals a Catalunya. [(8)]

D'altra banda, valoritzable energèticament perquè és un producte ideal per a produir un combustible renovable i menys contaminant que els combustibles convencionals, el biogàs; aquest biogàs s'aconsegueix mitjançant el procés conegut com a digestió o codigestió anaeròbia, depenent si el producte inicial és un únic tipus de residu orgànic o diversos. Tot i que la seva composició química varia en funció de factors tant diversos com la dieta del porc o la espècie de porc a la que pertany, els purins presenten una composició química rica en nitrogen, fòsfor i potassi; això fa que siguin òptims per a la seva utilització com adob en el camp. El problema resideix en la manera convencional de gestionar els purins, que s'emmagatzemen en basses per anar utilitzant-los; aquesta metodologia és conflictiva doncs l'emmagatzematge en basses acaba provocant filtracions cap a les aigües subterrànies. En xifres, segons l'*Agència Catalana de l'Aigua (ACA)*, el 46 % de les masses d'aigua subterrània a Catalunya estan contaminades per nitrats; l'origen dels nitrats és divers, però esta associat principalment a l'excés de fertilitzants nitrogenats i a les dejeccions ramaderes. [(9)]

De fet, els purins no comporten únicament una situació d'agravi o toxicitat en els aqüífers, sinó que també impliquen un greu perill per a la salut per les emissions a la atmosfera. En dades, segons el *Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (PRTR España)* la contaminació atmosfèrica provocada per els purins s'ha duplicat en el període comprés entre 2012 i 2018 (de 9500 tones fins a les 21000)[(10)]. Sent els nitrats el principal contaminant derivat dels purins en les masses d'aigua; l'amoníac provinent de l'orina és el principal contaminant per emissions a l'atmosfera, juntament amb les emissions incontrolades de metà. Aquestes segones però són causades per l'emmagatzematge en basses obertes, aleshores es poden atribuir tant a la pròpia naturalesa o composició del purí com a la gestió convencional del mateix. Paral·lelament, aquest tipus de gestió està associada a granges de ramaderia intensiva, que comporten altres problemes per a les poblacions voltants com són la proliferació de mosques, mosquits i rosegadors[(11)].

És per això que es proposa com a base establir l'estudi i disseny d'una planta de biogàs amb l'objectiu de reduir la contaminació provocada per aquestes dejeccions i la promoció d'una economia circular al voltant d'aquest residu i altres residus agropecuaris. Això permetrà una segona vida a aquests residus com a combustible renovable i l'ús com a fertilitzant dels residus o subproductes de la conversió; aquest procés de gestió, en comparació amb el procés convencional, redueix considerablement la contaminació de sols, d'aigües subterrànies i l'emissió de contaminants a l'atmosfera. Indistintament de si el biogàs produït és utilitzat com a combustible per a una possible cogeneració o es depura per injectar el biometà a la xarxa de gas natural, aquest tipus de procés o planta suposa un estalvi en gasos d'efecte hivernacle força considerable. Aquest estalvi varia en funció de l'origen del residu o matèria prima utilitzat per produir biogàs, sent màxim si la matèria prima són dejeccions humides, com en el cas dels purins. En la següent taula, extreta de la publicació de *Xavier Flotats* per a la *Fundació Naturgy*, s'il·lustren els estalvis percentuals que suposa el biogàs, tenint com a referència (186 g CO₂ eq/MJ elèctric) o (72 g CO₂ eq/MJ GN)[(12)].

Taula 2: Estalvi d'emissions de gasos d'efecte hivernacle per a diferents usos i matèria prima. Font: Fundació Naturgy



Així doncs, l'objectiu d'aquest projecte és dissenyar una planta de gestió de residus, que aprofitant el biogàs produït, pugui vendre l'energia elèctrica a la xarxa i obtenir beneficis. Per a això, s'estudiaran les opcions disponibles al mercat elèctric, les metodologies existents per estimular la producció de biogàs, les possibles fonts de subvenció.

2.1. Biogàs

La digestió anaeròbica és un procés biològic caracteritzat per la absència d'oxigen on certs bacteris descomponen la matèria orgànica en una barreja de productes més simples, que es poden separar en el producte gasós i el producte sòlid. Tal i com es recull en l'ICAEN, es tracta de digestió doncs els materials orgànics es degraden i se n'obté un residu orgànic i energia. [(13)]

El digestat és una barreja d'elements minerals simples com són el nitrogen, el fòsfor, el potassi i el calci, entre altres; sol presentar-se en forma líquida o semi-sòlida doncs no és més que una barreja dels substrats previs a la reacció (simplificats o degradats) més la biomassa microbiana formada durant la digestió. Aquest producte pot ser aprofitat sobretot com a adob, doncs els minerals mencionats anteriorment són els principals elements químics que les plantes extreuen dels substrats del sol; tot i que també pot ser utilitzat per a la venda com a compost o com a matèria prima per l'obtenció de bioproductes. Tot i la seva utilitat, les dificultats per a gestionar el digestat obtingut fan que en molts

casos s'hi hagin d'aplicar diferents tractaments per a una millor gestió; les diferents condicions d'ús final per aquest digestat fan que els tractaments aplicables siguin molt diversos, però els més comuns són la decantació, sedimentació, secat i granulació o pel·letització.

Els residus gasosos són compostos com el metà, el diòxid de carboni o l'hidrogen, entre altres, i rep el nom de biogàs. El biogàs obtingut com a producte de la digestió conté un elevat percentatge de metà, que varia segons la o les fonts primàries de la digestió, però que en tot cas és lo suficient elevat com per ser aprofitat energèticament. És per això que aquest producte de la digestió és tan valorat doncs suposa una alternativa renovable per a substituir una font d'energia fòssil; a més, un procés de digestió anaeròbica controlada ajuda a controlar les emissions incontrolades d'aquest gas a la atmosfera, gas que té un efecte hivernacle 21 vegades superior al diòxid de carboni, segons dades de l'ICAEN [13]. Els diferents usos òptims del biogàs obtingut depenen directament del seu percentatge de metà (doncs és el gas que hi aporta el elevat poder calorífic) i la quantitat de gas produïda, però poden ser classificats en tres grans grups:

- Aprofitament tèrmic del biogàs, mitjançant una caldera de vapor.
- Cogeneració d'electricitat i calor, on en funció de la disponibilitat de gas s'utilitzen diferents tecnologies tal com micro-turbines, motors alternatius, turbines de gas o motors Sterling.
- Injecció a la xarxa de gas natural, quan el biogàs es purifica i el seu contingut de biometà és superior o igual al 90%.

Tot i que aquest procés sol estar associat a residus agrícoles i ramaders, també s'utilitza com a font primària per al procés altres residus com són els de la indústria alimentària o les aigües residuals amb alt contingut orgànic; en aquest cas rep el nom de co-digestió.

La co-digestió tracta aleshores de combinar fonts primàries que per les seves característiques es complementin i afavoreixin la producció de biogàs. Com a exemple, seguint les recomanacions de l'ICAEN, una bona base per a la codigestió són els purins doncs presenten un contingut en aigua més elevat que la resta de residus utilitzables i una àmplia varietat de nutrients i micronutrients necessaris per a la perfil·le ració dels microorganismes.

A la taula 3 podem observar els principals paràmetres fisico-químics dels purins, i a la figura 1 el potencial que té el biogàs en front altres fonts d'energia convencionals.

Taula 3: Paràmetres característics purins. Font: IDAE

	MÍN	MÁX	MEDIA
Sólidos Totales – ST (%)	1,4	16,9	6,4
Sólidos Volátiles – SV – sobre ST (%)	44,5	76,4	65,5
N – Amoniacal (mg/L)	1.673,8	7.558,4	4.383,5
N –Orgánico (mg/L)	396,4	3.672,3	1.529,3
SST (%)	0,4	15,5	4,8
SST/ST (%)	30,5	96,2	67,2
SSV (%)	0,3	11,5	3,8
SSV/SV (%)	50,1	99,3	78,8
SSV SOBRE SST (%)	56,5	97,5	78,6
DQO (mg/L)	8.660,0	186.084,3	71.591,7
DQO/SV (g DQO/g SV)	1,22	2,39	1,69
Fósforo – P (mg/L)	90,9	6.255,4	1.406,9
Potasio – K (mg/L)	1.657,0	7.791,3	4.929,7
Alcalinidad parcial (pH=5,75)	0,9	23,2	11,0
Alcalinidad total (pH=4,3)	1,3	45,2	19,2
Relación alcalinidad (RA)	0,2	0,7	0,4
	MÍN	MÁX	MEDIA
Cobre – Cu (mg/L)	7,6	170,3	41,3
Zinc – Zn (mg/L)	7,6	120,8	63,4
pH	6,6	8,7	7,7

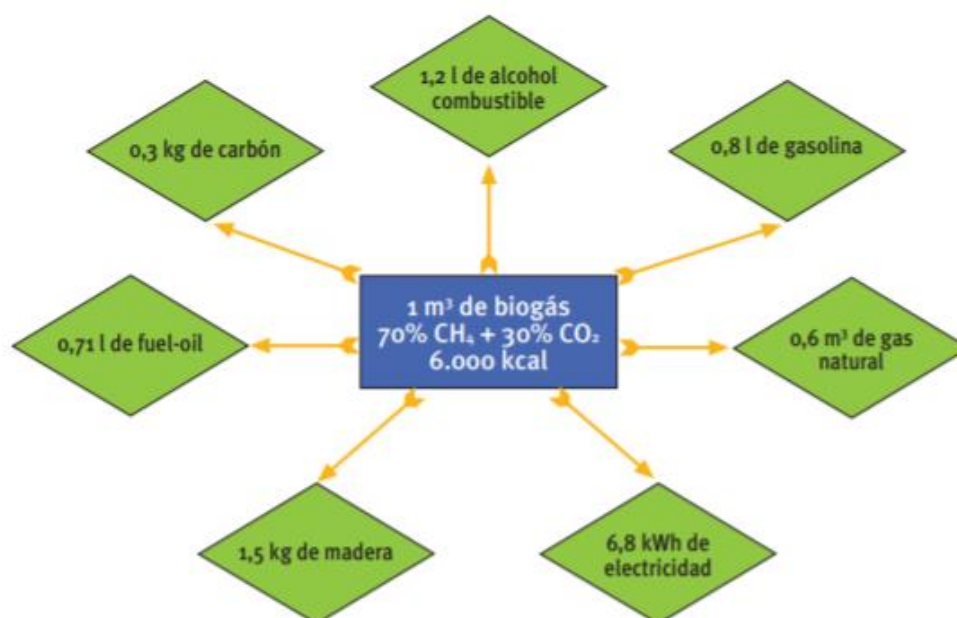


Figura 1: Equivalències energètiques del biogàs. Font: IDAE. Situación y potencial de generación de biogàs

2.1.1. Reacció i procés

Tal i com s'especifica a la *Agència dels Residus de Catalunya* [(14)], la digestió anaeròbica esta formada per 4 fases o processos ben diferenciats, la hidròlesi, l'acidogènesi, acetogènesi i metanogènesi:

“1.Hidròlesi

Descomposició anaeròbica de les macromolècules orgàniques (polisacàrids, lípids i proteïnes) en molècules simples (sucres, àcids orgànics, alcohols...). Aquest procés es du a terme per exoenzims generats per bacteris fermentatius. Aquests bacteris són facultatius, per tant la presència d'oxigen no és limitant.

2.Acidogènesi

Descomposició, mitjançant els bacteris acidogènics, de les molècules simples generades a l'anterior etapa en els àcids grassos volàtils o de cadena curta, els alcohols, el diòxid de carboni i l'hidrogen

3.Acetogènesi

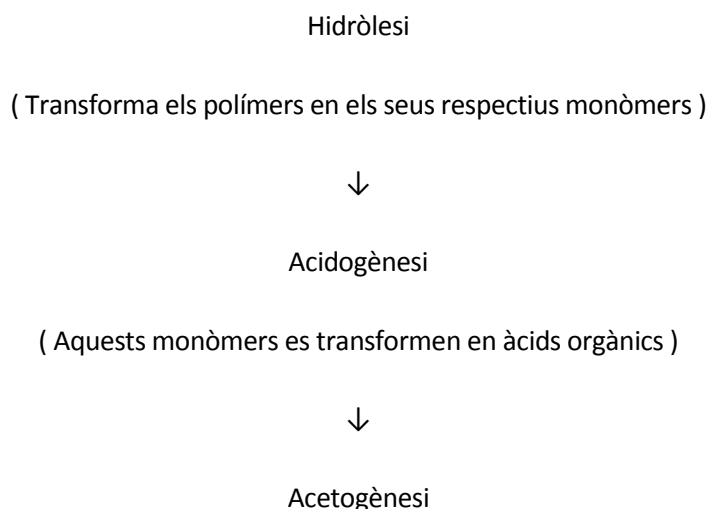
Transformació de les molècules simples en àcid acètic, hidrogen i diòxid de carboni

4.Metanogènesi

Els bacteris metanogènics transformen els components producte de la fermentació en gas metà i diòxid de carboni. Aquests bacteris són anaerobis estrictes, sensibles als canvis de temperatura i a la presència de substàncies inhibidores”

Extracte de la web de l'Agència de Residus de Catalunya

De forma esquemàtica, es podria definir el procés de la següent manera:



(Els àcids orgànics es transformen en àcid acètic, hidrogen i diòxid de carboni)



Metanogènesi

(El metà es produït mitjançant l'àcid acètic o la barreja d'hidrogen i diòxid de carboni)

2.1.2. Paràmetres a controlar

Per afavorir la reacció de digestió, hi ha paràmetres primordials tant ambientals com operatius que s'han de controlar. En el quadern de l'ICAEN, *Producció de biogàs per codigestió anaeròbia*, es defineixen els paràmetres característics de la digestió anaeròbia en dos tipus: ambientals o funcionals; diferenciant-se perquè sobre els paràmetres ambientals no s'actua directament sinó que venen donats per les característiques dels residus i el procés. [(13)].

Com a paràmetres ambientals trobem:

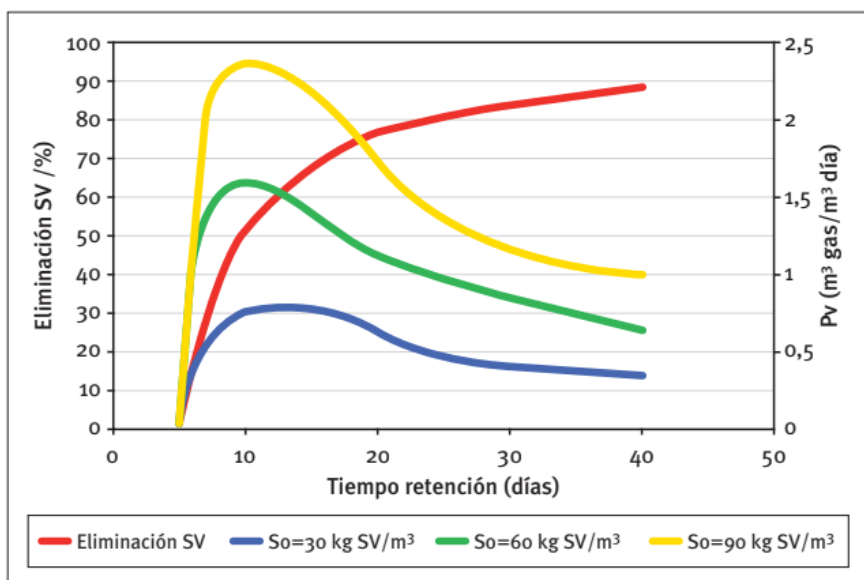
- **pH:** El rang òptim de pH per a la millor producció de quantitat i percentatge de metà es situa entre el 6,6 i 7,6.
- **Alcalinitat:** L'alcalinitat assegura la capacitat tampó i evita l'acidificació. Es recomanable una alcalinitat superior a 1,5 g/l CaCO₃.
- **Redox:** El potencial Redox recomanable és un valor inferior a -350 mV.
- **Nutrients:** per a la proliferació dels bacteris necessaris s'ha de disposar d'un medi ric en carboni, nitrogen, fòsfor, sofre i sals minerals.
- **Tòxics:** La mínima quantitat possible de tòxics i de inhibidors de la reacció, com l'amoníac, sals minerals, pesticides, metalls pesats, alcalins i alcalinoterris.
- No sobrecàrrega orgànica.

Com a paràmetres operatius trobem:

- **Temperatura:** Depèn del tipus de reactor i reacció, però es busca sempre la major estabilitat possible al voltant d'una temperatura constant. Es decidirà entre treballar en un rang psicròfil o a temperatura ambient, mesòfil (35°C) o termòfil (55°C).
- **Agitació:** La agitació de la barreja és un factor que depèn també del tipus de reactor, però en general s'ha de garantir una bona homogeneïtzació dels substrats que es volen digerir; assegurant així que el substrat arriba a cada població de bacteris i que es mantenen petites les concentracions de inhibidors.
- **Temps de retenció i velocitat de càrrega orgànica:** El temps de retenció és el temps promig que el substrat està en el reactor sotmès a l'acció dels bacteris, i és un quocient entre el volum i caudal de tractament; mentre que la velocitat de càrrega orgànica és la quantitat de matèria orgànica introduïda per unitat de volum i temps. En les imatges següents es mostren unes

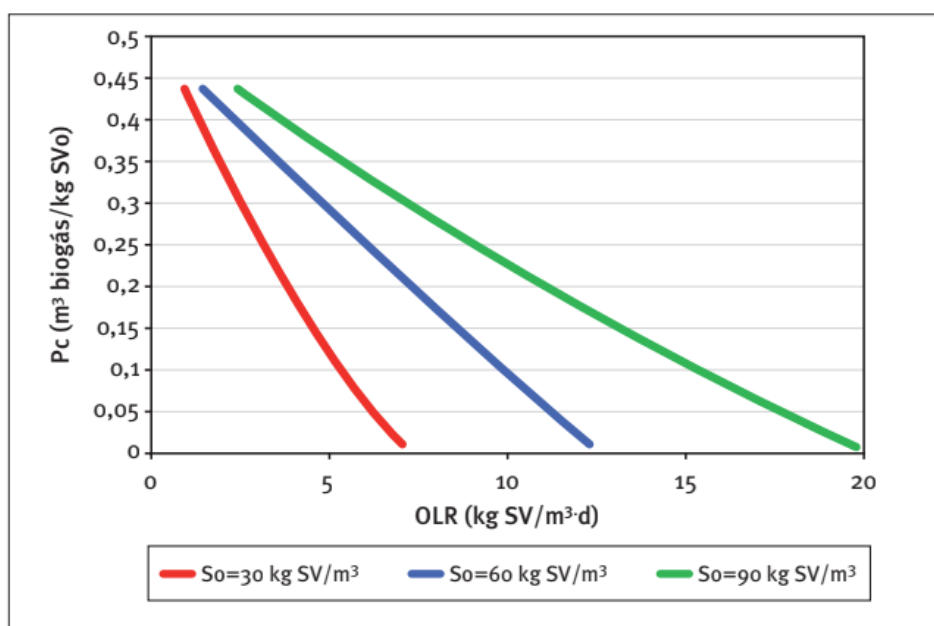
gràfiques que representen l'eliminació de sòlids volàtils i producció de gas en funció del temps de retenció i la producció de gas en funció de la velocitat de càrrega.

Tal i com s'observa en el gràfic 1, hi ha un temps mínim de retenció abans del qual no es produeix biogàs.



Gràfic 1: Eliminació Sòlids volàtils vs Temps retenció. Font: ICAEN. Producció de biogàs per codigestió anaeròbia

Com es pot observar en el gràfic 2, un augment en la velocitat de càrrega orgànica implica una disminució en la producció de gas per unitat de matèria orgànica introduïda.



Gràfic 2: Producció biogàs vs Velocitat càrrega orgànica. Producció de biogàs per codigestió anaeròbia

Així doncs, és necessari tenir en compte les limitacions imposades per els gràfics anteriors.

2.1.3. Necessitats microbianes de la reacció

En aquestes reaccions hi participen fins a cinc tipus de bacteris amb diferents funcionalitats, com són els bacteris hidrolítics-acidogènics, acetogènics, homoacetogènics, metanogènics hidrogenòfils i metanogènics acetoclastics. Si volem posar nom propi a algunes de aquestes bactèries podem destacar les Lactobacillus, Bacillus, Peptococcus, Methanobacterium, entre altres. [(15)] [(16)]

En la figura 2 es mostren els principals bacteris i en quina fase de la reacció intervenen:

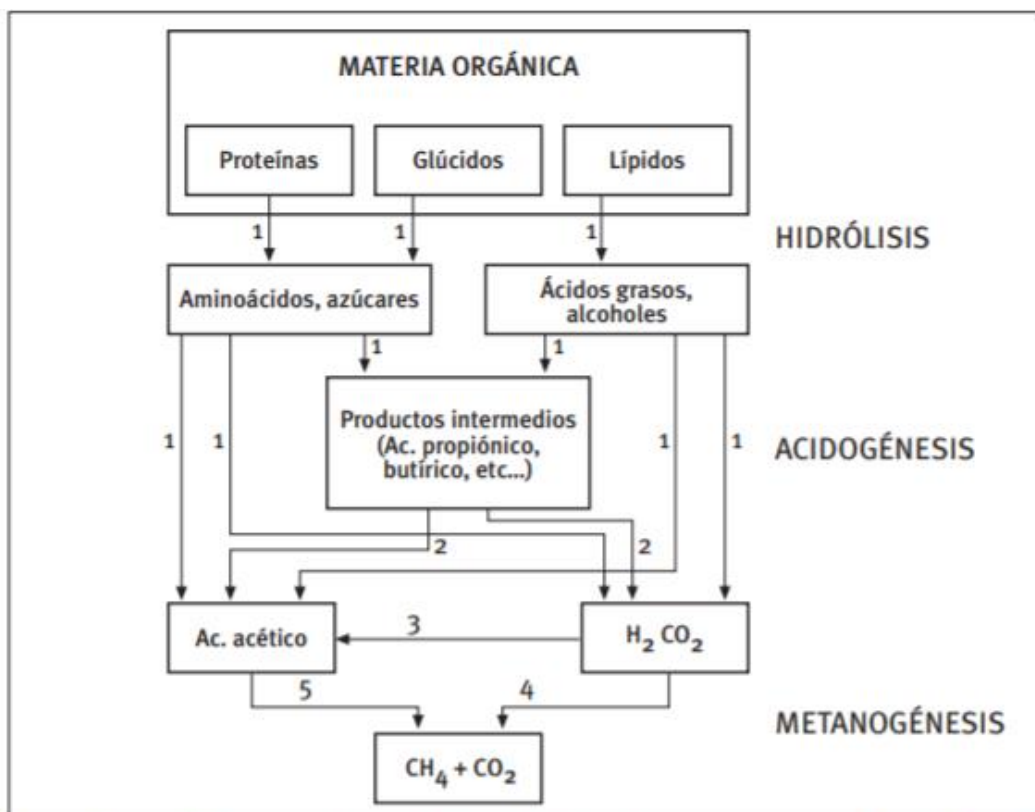


Figura 3. Fases de la fermentació anaeròbia i poblacions de microorganismos: 1) Bacterias hidrolíticas-acidogénicas; 2) Bacterias acetogénicas; 3) Bacterias homoacetogénicas; 4) Bacterias metanogénicas hidrogenófilas; 5) Bacterias metanogénicas acetoclasticas. Fuente: GIRO.

Figura 2: Fases del procés de digestió anaeròbia i bacteris que hi participen en cadascuna. Font: IDAE

2.1.4. Optimització de la reacció. Codigestió

La valorització energètica del biogàs depèn fonamentalment del percentatge en que cada gas esta present en la seva composició, però, sent la seva composició normal de metà al voltant d'un 50~70 % respecte el total, és un producte amb unes grans possibilitats energètiques.[(13)] En la taula adjunta, es poden veure els residus més utilitzats per a la producció de biogàs i l'afavoriment de les combinacions possibles, (el signe + s'ha de compensar amb el – en la combinació per tal de afavorir el màxim possible la reacció)

	Dejeccions ramaderes	Fangs de depuració	Fració orgànica Residus Municipal	Residus indústria alimentària
Micro i macronutrients	+	+	-	-
Relació C/N	-	±	+	+
Alcalinitat	+		-	-
SV biodegradables	-	±	+	+

Taula 4: Combinacions òptimes per a la codigestió. Font: ICAEN. Producció de biogàs per codigestió anaeròbia

2.2. Planta de gestió de residus

Els elements o tecnologies que componen una planta de digestió anaeròbia depenen principalment de dos factors, el producte final que s'hi vulgui obtenir i a partir de quins residus o matèries primes es vulgui obtenir; això és perquè cada substrat o matèria digestible tenen unes característiques físiques diferents i és necessari adaptar-les als requeriments de la reacció. En aquest sentit, la millor manera de aprofitar la reacció anaeròbica es mitjançant una planta de digestió anaeròbica.[(14)]

En aquestes plantes, s'aprofita el biogàs produït per a generar electricitat i calor. En la següent imatge es mostra un esquema realitzat per l'Agència Catalana de Residus (ARC) sobre les plantes de digestió anaeròbica:



Figura 3: Parts d'una central de valorització energètica. Font: Agència de Residus de Catalunya.

2.2.1. Identificació idoneïtat planta

Aquest projecte compta amb la particularitat que no es tracta de un projecte dissenyat per a cap entitat o explotació concreta, sinó que l'emplaçament és una variable a trobar i això fa que es pugui modificar per trobar la millor ubicació. Així doncs, i gràcies a les dades del registre d'explotacions ramaderes del *Portal de Transparència de Catalunya*, es poden filtrar les dades per veure quines zones apleguen les explotacions intensives amb major numero de caps, o quines produiran més residus.

A l'hora de seleccionar la ubicació amb més residus produïts, s'ha de tenir en compte dues variables, el nº de caps i els residus generats per cap ($m^3/cap \cdot any$); això és degut a que tal i com s'indica en la *Guia dels tractaments de les dejeccions ramaderes*, de l'agència de Residus de Catalunya [(14)], la quantitat de residus produïts per un porc d'engreix de fins a 100 kg difereix dels produïts per una truça, per exemple. Les dades del registre d'explotacions ramaderes estan classificades per l'espècie animal

que explota, podent escollir aleshores filtrar únicament les instal·lacions porcines. Dintre d'aquestes però, hi ha diferents tipologies d'explotacions o classificacions zootècniques (producció en cicle tancat, explotacions d'engreix, etc...), per això s'haurà d'estudiar les diferents explotacions per veure quina quantitat dels diferents animals tenen i quina es la generació total de residus de cadascuna en un any.

Tot i que les explotacions de cicle tancat en comparació individual d'instal·lació produeixen més residus, observant les dades es troba una elevada concentració de explotacions intensives d'engreix a Oliola, a la Noguera. Fent més possible la cooperació entre les diferents explotacions que en el cas de les explotacions de cicle tancat, on no existeix aquesta proximitat

La quantitat de producció de biogàs mitjançant la reacció de digestió anaeròbia depèn fonamentalment del tipus de residu a digerir i la tecnologia o mètode a emprar; en aquest cas, s'aplicarà com a principal residu per a la codigestió els purins de porcí, degut a que aquest projecte no pretén només generar electricitat i calor de forma renovable sinó que també vol aportar una solució als problemes derivats de la gestió dels residus ramaders, sent els purins un dels principals problemes a tractar. Per tal de maximitzar el biogàs produït, es codigestionarà els purins amb altres residus disponibles a la zona i que disposin de un bon potencial de producció de biogàs per a que la proporció d'elements químics sigui idònia.

Al ser una proposta de projecte, i no un projecte real amb un context i característiques definides, es suposarà que qualsevol de les explotacions registrades està d'acord amb cooperar en aquest projecte; es tracta doncs d'estimar el potencial de la zona per aprofitar els residus generats més que la projecció d'una instal·lació concreta.

Com indica el Registre d'Explotacions, *Granges Terragrís SLU* consta de 5 explotacions a Oliola, 3 de 7200 caps d'engreix, 1 de 4100 caps i 1 de 1900 caps [(17)]. Amb una aproximació estimada:

$2,15 \frac{m^3 \text{ purí}}{(\text{cap} * \text{any})}$, per a porcs d'engreix segons *Guia de tractaments de dejeccions ramaderes*.

$$\sum \text{porcs Granges Terragrís} = (3 * 7200) + (4100) + 1900 = 27600 \text{ porcs}$$

$$\text{Producció anual purins} = 27600 \text{ caps} * 2,15 \frac{m^3 \text{ purí}}{\text{cap} * \text{any}} = 59.340 \frac{m^3 \text{ purí}}{\text{any}}$$

Conegudes les xifres de purins porcins a gestionar, s'estudia les diferents possibilitats de codigestió disponibles. En la guia *Producció de biogàs per codigestió anaeròbia*, de l'ICAEN s'indiquen diferents recomanacions a l'hora d'escollir els residus a codigestionar. D'aquestes recomanacions es pot destacar el següent [(13)]:

- Relació carboni-nitrogen (C/N): ha d'estar situada entre 20 i 30. No creen importants problemes valors superiors, però si inferiors a 20.
- Presència d'inhibidors: L'amoniac, el coure i el zinc són els inhibidors més importants que poden afectar a la reacció. Mentre que el zinc no s'acostuma a trobar en quantitats preocupants, l'amoniac deuria ser inferior a 3g/l i el coure a 200 mg/l.

Els residus a codigestionar hauran de ser aleshores òptims per la proporció de nutrients i també energèticament interessants o amb un potencial elevat de producció de biogàs. En la taula 5 i 6 es troba la relació C/N de diferents residus i part dels paràmetres més importants.

Taula 5: Relació C/N de diferents subproductes. Font: ICAEN. Producció de biogàs per codigestió anaeròbia

Subproducte	Relació C/N
Purins de porc	18-20
Purins de bestiar vaquí	15-24
Gallinassa	15
Residus escorxador	2-8
Residus de cuina	25
Residus de fruites	35
Fangs de depuració	16
Peles de patata	25
Blat de moro, arròs, blat	60-90

Taula 6: Característiques fisicoquímiques de diferents subproductes. Font: ICAEN. Producció de biogàs per codigestió anaeròbia

	Purins porc	Gallinassa	Purins bovi	Terres filtrants olis	Residus escorxador	Fangs depuració amb greixos	Residu vegetal de procés industrial
SV (g/kg)	33,9	200,8	90,2	323,2	239,2	100,8	352,3
DQO (g/kg)	56,2	264,8	80,0	491,6	323,3	167,0	652,1
% biodegradabilitat	54,9	59,0	56,7	84,4	68,3	63,9	45,4
m ³ CH ₄ /kg SV	0,347	0,272	0,196	0,449	0,319	0,373	0,293
m ³ biogàs/ton res.	18,1	84,1	27,2	223,3	117,6	57,8	158,9

Sembla coherent aleshores, i com s'ha vist en altres plantes existents, la codigestió dels purins porcins amb els bovins i residus vegetals. Els residus d'escorxador presenten més problemes de seguretat ambiental també però es una opció viable. De tota manera, el pròposit d'aquest projecte és donar solució a un problema derivat dels residus porcins, així doncs s'escollirà la codigestió en funció de les proximitats a les explotacions porcines seleccionades. Com es mostra en el registre, a les proximitats de *Granges Terragrisa* trobem *Granja Crusvi*, dedicada a l'engreix de gallinasses. Amb 25000 aus, aquesta granja pot contribuir al total del mix de residus amb la següent quantitat de residus [(17)]:

$0,02 \frac{\text{tones fem}}{(\text{cap} * \text{any})}$, per a engreix de pollastres segons *Guia de tractaments de dejeccions ramaderes*.

$$0,02 \frac{\text{tones fem}}{(\text{cap} * \text{any})} * 25000 \text{ aus} * 1 \frac{\text{m}^3}{(0,5 \text{ tones})} = 1.000 \text{ m}^3 \text{ anuals de purins}$$

Fixant-nos en les explotacions bovines, trobem diverses explotacions properes que apleguen fins a 700 caps d'engreix; donant el següent resultat:

$3,6 \frac{\text{m}^3 \text{ purí}}{(\text{cap} * \text{any})}$, per a engreix de vedelles segons *Guia de tractaments de dejeccions ramaderes*.

$$3,6 \frac{\text{m}^3 \text{ purí}}{(\text{cap} * \text{any})} * 700 \text{ caps de boví} = 2520 \text{ m}^3 \text{ de purí}$$

$$\sum \text{purins} = 59340 + 2520 + 1000 = 62860 \text{ m}^3 \text{ purins}$$

2.2.2. Elements de la planta

Els elements existents a la planta depenen directament de la quantitat de processos que finalment es duiguin a terme en, però en qualsevol planta de gestió de residus mitjançant digestió anaeròbia trobarem els següents elements principals [(13)]:

Reactor (Digestor)

Tal i com s'extreu del quadern de l'ICAEN, el reactor més utilitzat per a la digestió de residus com els purins és el reactor CSTR o de mescla completa. Aquest reactor consta d'una estructura amb un disseny bastant senzill, doncs és un dipòsit amb un agitador central que assegura una barreja homogènia de microorganismes en la mescla, com es veu en la següent figura:

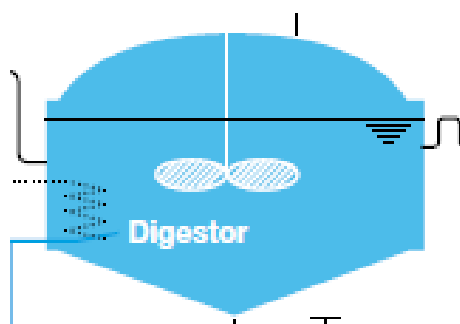


Figura 4: Reactor CSTR Font: ICAEN. Producció de biogàs per codigestió anaeròbia

Gasòmetre

La producció de biogàs en els digestors és un procés continu durant tot el dia, mentre que el consum de biogàs no ha de seguir estrictament aquest procés continu; a més, el consum i producció de biogàs poden donar-se alhora però en magnituds diferents, sent probable que la producció sigui superior al consum. Aquestes diferències entre producció i consum fan necessària la existència de volum extra per tal d'emmagatzemar el biogàs, que es pot aconseguir afegint un volum extra a la part superior del digestor o realitzar un tanc específic per aquesta funció, tal i com s'explica en els quadern de l'ICAEN. Per a realitzar el càlcul del volum necessària primer s'haurà d'estimar els perfils de producció i consum i estimar la quantitat de volum desitjada per emmagatzemar.

Torxa de seguretat

La torxa de seguretat és funcional en aquells casos on per un motiu o altre, la producció de biogàs segueix sent més gran que el consum del mateix i el gasòmetre és ple. Mitjançant la torxa de seguretat i una vàlvula es deixa fluir i es crema aquell biogàs que no pot ser emmagatzemat i provocaria un

perillós augment en la pressió del sistema. En aquestes actuacions, el biogàs seria cremat abans de ser emès a la atmosfera doncs els productes de la combustió són menys contaminants que el biogàs.

Altres Elements

Altres elements presents en una planta de digestió anaeròbia són els sistemes de canalització i bombeig, un dipòsit d'entrada per si s'hagués de emmagatzemar els purins abans d'entrar al digestor, vàlvules de seguretat i elements com un filtrador de gas en cas de que es necessites millorar la puresa del biogàs abans d'utilitzar-ho.

2.3. Planta de cogeneració

Tal i com es defineix a l'IDAE [(18)], la cogeneració és la producció d'energia tèrmica, elèctrica i/o mecànica de forma conjunta; el cicle de la cogeneració, com a conjunt de processos, consisteix en la crema del combustible seleccionat per tal de produir energia mecànica i transformar-la en elèctrica mitjançant un generador, a més de l'aprofitament del calor dels gasos de combustió en forma de vapor d'aigua mitjançant un intercanviador de calor o caldera de recuperació, tal i com s'observa a la següent imatge. És una forma eficient de cobrir les necessitats de aquelles instal·lacions o projectes que requereixen de necessitats tèrmiques i elèctriques; així doncs, és habitual que aquesta tipus de tecnologia utilitzi el gas natural doncs és la solució més eficient en forma de combustible fòssil.

Per estudiar millor el cicle, podem fixar-nos també en les seves característiques termodinàmiques. El cicle que s'utilitzarà és el propi d'una turbina de gas, i aquest és el Cicle de Brayton. El cicle Brayton, com s'observa en la següent imatge, és un cicle senzill compost per un compressor i una turbina, que comprimeixen i expandeixen el fluid, una cambra de combustió i un intercanviador de calor. El seu funcionament consisteix en una entrada de aire, que s'escalfa i comprimeix per barrejar-ho amb el biogàs i combustionar; en aquest punt, la barreja entra a la turbina de gas i es genera electricitat mitjançant el generador. D'altra banda, els fums a la sortida de la turbina de gas s'aprofiten per, mitjançant un bescanviador de calor o caldera, escalfar vapor d'aigua. Tots aquest processos es poden observar en la següent figura:

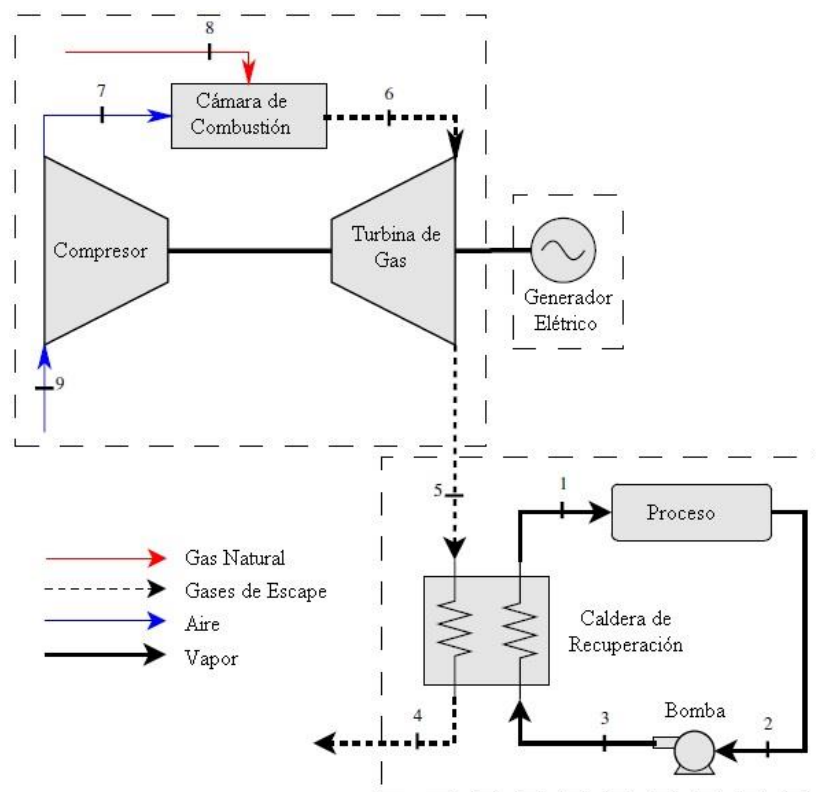


Figura 5: Elements de un cicle de cogeneració. Font: Análisis energético, exergético y económico de un sistema de cogeneración: caso para una planta azucarera de San Pablo. Universidad Politécnica Salesiana Ecuador

Un cicle de cogeneració simple no aprofita aleshores el calor dels gasos de combustió per produir electricitat, sinó que només emmagatzema el calor en forma de vapor d'aigua. Sovint però, com s'observa en la figura 6, s'incorpora una turbina de vapor per tal de produir energia elèctrica amb el vapor abans de ser utilitzat de forma tèrmica; això redueix la temperatura del vapor, fent que aquesta solució sigui òptima per aquelles aplicacions on no es requereixi de l'ús del vapor amb una temperatura molt elevada i es vulgui maximitzar la producció d'energia elèctrica.

En aquest projecte, es dissenyarà una central de cogeneració alimentada per el biogàs produït a la planta de gestió de residus, i es podrà analitzar la factibilitat d'una tecnologia profitosa com la cogeneració amb un combustible alternatiu i renovable com el biogàs, per obrir una alternativa als combustibles fòssils. En el capítol Enginyeria del projecte, es dissenyaran i calcularan tots els paràmetres i elements necessaris per tal de estimar quina tecnologia de generació és més profitosa en aquest projecte. Es deixa doncs la porta oberta a incorporar una turbina de vapor per realitzar el cicle combinat en futurs estudis.

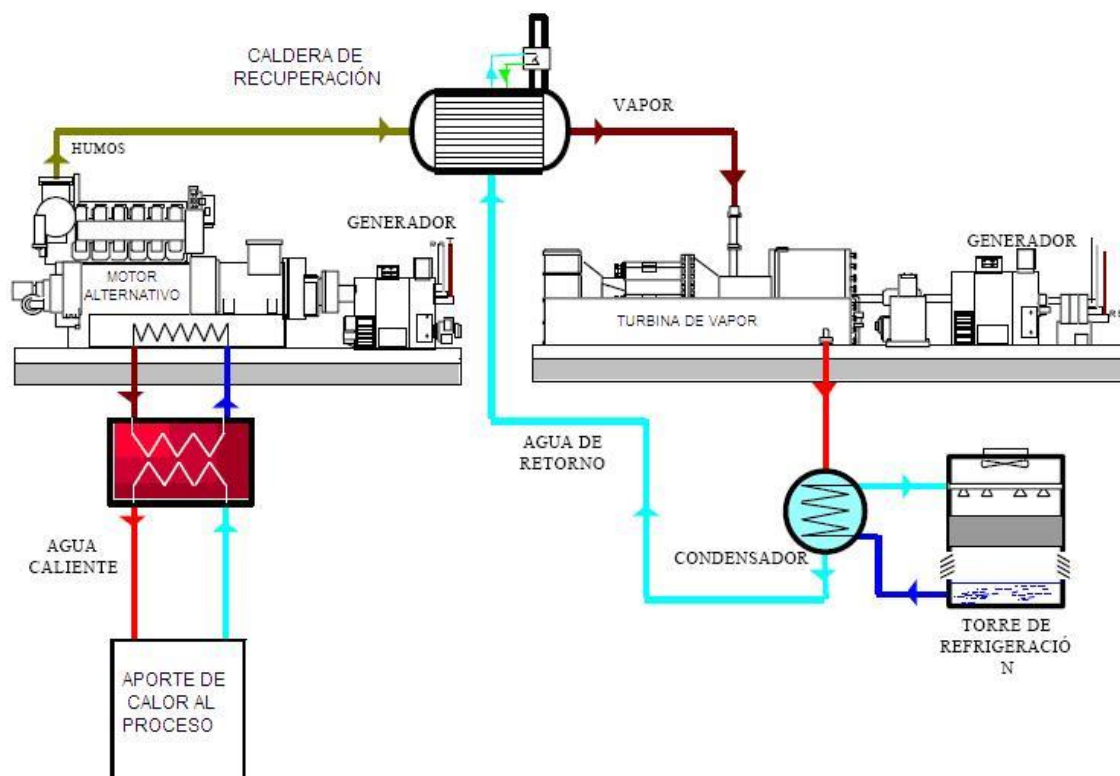


Figura 6: Elements de un cicle combinat. Font: <https://www.solarnews.es/2017/04/12/cogeneracion-rutinas-de-mantenimiento/>

Tot i que els elements representats en les imatges anteriors són turbines, els cicles de cogeneració es poden realitzar mitjançant altres elements com poden ser motors de combustió o microturbines. La elecció del element de generació vindrà donada per la potència a instal·lar, tal i com es mostra en la següent taula. La potència a instal·lar és una variable que depèn de factors com la quantitat de biogàs a tractar.

Taula 7: Comparació d'elements de generació. Font: IDAE

Tecnología	MCI ¹	Micro-turbina	Turbina de gas	Stirling	Pilas de combustible
Tamaño (MW)	0,03 a 6	0,001 a 0,4	0,5 a 30	0,0250 a 0,055	0,1 a 3
Coste de instal·lació (€/MW)	560.000 a 965.000	950.000 a 1.350.000	325.000 a 725.000	900.000 a 1.600.000	3.200.000 a 4.000.000
Costes de O&M (€/MWh)	6,2 a 16	6,4 a 12	3,2 a 8	4 a 6,4	1,5 a 12,3
Eficiència sobre PCI (%)	30 a 42	14 a 30	21 a 40	30	26 a 50

2.4. Marc Normatiu

A nivell Europeu, Espanya participa junt a França, Alemanya, Irlanda, Itàlia, Polònia i Suècia en el projecte europeu *BIOGAS3* [(19)]; aquest projecte vol impulsar la creació de petites plantes de biogàs per tal de fer el sector agroalimentari europeu una mica més autosuficient, reduint així també les emissions de gas d'efecte hivernacle. Promou aquests objectius mitjançant la financiació i el suport dels governs i empreses del sector agroalimentari a la generació i us de biogàs; tot i que aquest projecte té com a principal objectiu la creació de petites plantes (< 100 kW), disposa de documents tècnics i recull la legislació vigent, fet que ens serà de gran utilitat independentment de la potència final de la cogeneració instal·lada a la planta. Concretament, cal destacar la seva eina *Smallbiogas*, que realitza informes estimant la viabilitat d'un projecte d'una planta de biogàs segons la ubicació, els residus utilitzats i la quantitat dels mateixos, l'ús del biogàs i els subproductes i diferents termes econòmics com el preu de venda de l'energia.

En el punt 4 del projecte es defineix la enginyeria del projecte, i és on es calculen les estimacions de biogàs produït. En funció del biogàs disponible, s'incorporarà un equip cogenerador de mes o menys potència; serà doncs en aquell moment quan es podrà estimar la factibilitat de incorporar-se al finançament del projecte europeu *BIOGAS3*. Un dels condicionants que es respectarà és la voluntat de realitzar el màxim aprofitament energètic possible, això significa que la potència instal·lada depèn únicament de la quantitat de biogàs produïda, i en cap cas es limitarà la potencia instal·lada amb el finançament *BIOGAS3* com a motiu. En el punt 5 s'estudia la viabilitat econòmica de la planta, on la eina proporcionada per *BIOGAS3* serà força útil de cara a realitzar les estimacions de viabilitat.

A nivell estatal, el marc normatiu d'aquest projecte és dividit en dos grans blocs, l'explotació de residus i la legislació energètica. La legislació energètica que s'aborda pretén contextualitzar la producció elèctrica del dintre del mercat elèctric i s'estudia quin ventall d'opcions s'obre per a la planta dintre del mercat energètic tenint en compte que la viabilitat de la planta dependrà en gran part dels possibles ingressos que es pugui tenir; i aquests a la vegada es preveu que provenguin de la venda d'energia al mercat elèctric. La legislació sobre residus vindrà definida sobretot per les característiques dels residus, doncs delimitarà un ús o un altre per els mateixos.

2.4.1. Explotació de residus

Com el biogàs es produirà mitjançant purins codigestionat amb altres subresidus, la classificació que regula aquest tipus de residu és SANDACH, subproductes animals no destinats a consum humà. Els SANDACH varen ser creats a nivell europeu per tal de establir protocols i normatives que minimitzin el risc que comporten aquests residus, arrel de diverses crisis sanitaris i alimentaries com la crisi de las vaques boges o presència de toxines en els pinsos. La classificació SANDACH consta de tres grups, sent

el subgrup 1 el de major risc de contaminació i el subgrup 3 el de menor. Concretament, tal i com es recull en el *Reglamento Europeo [CE] 1069/2009*, [(20)] es defineix com a fems aquells excrements i orina d'animals de granja diferents als peixos de piscifactoria, i en l'article 9 d'aquest mateix Reglament s'indica que els fems pertanyen al subgrup o categoria 2.

D'altra banda, seguint les definicions del article 3 d'aquest Reglament, una planta de biogàs usuària de subproductes animals, entra en la definició de 'explotadors'. Els explotadors de residus animals tenen una sèrie d'obligacions recollides en els articles 21 i 22, tals com garantir que els productes són tractats sobre les condicions de higiene reglamentaries i sense demores, per tal d'evitar possibles riscos per la salut pública i animal.

Així doncs, diversos reglaments legislen sobre el tractament i utilització de residus SANDACH. En el nostre cas, com els residus SANDACH es destinaran a la producció de biogàs, són regits per el *Reglamento UE nº142/2011, de 25 de febrer de 2011* [(21)], tal i com s'indica en el article 12 d'aquest mateix reglament. Aquest mateix reglament també ens defineix quina és la forma de tractar els residus SANDACH per produir biogàs, com veurem en el marc pràctic. Serà necessari també o bé disposar d'un laboratori propi o recórrer a un laboratori extern per tal de fer els controls pertinents, com es disposa a la Secció 1 del Capítol 1 del Annex V del *Reglamento (UE) n.º 142/2011*.

A nivell estatal, en el *Real Decreto 1528/2012* [(22)], s'estableixen les normes aplicables als SANDACH, concretament en el seu article 8, *Plantas de Biogás*:

Las plantas de biogás que utilicen subproductos animales o productos derivados como materia prima, cumplirán los requisitos establecidos en el artículo 10 del Reglamento (UE) n.º 142/2011, de la Comisión, de 25 de febrero de 2011. Estarán equipadas con una unidad de pasteurización/higienización de paso obligatorio para las materias primas de origen animal que utilicen y que hayan de ser sometidas a este tratamiento, de acuerdo con la sección 1 del Capítulo III del anexo V del Reglamento (UE) n.º 142/2011, de la Comisión, de 25 de febrero de 2011, salvo que la pasteurización/ higienización se haya realizado previamente en otra planta autorizada o los residuos de digestión vayan a ser compostados, tratados o eliminados posteriormente de acuerdo con las condiciones exigidas en dicho reglamento, en función de la categoría de los SANDACH empleados como materia prima

Si tornem a fixar-nos en el *Reglamento Europeo [CE] 1069/2009* [(20)], concretament en el article 13, *Eliminación y uso de material de la categoría 2*, trobem que cita el següent:

e) se compostará o se transformará en biogás:

i) tras su procesamiento por esterilización a presión y el marcado permanente del material resultante, o bien

ii) en el caso del estiércol, el tubo digestivo y su contenido, la leche, los productos a base de leche, el calostro, los huevos y los ovoproductos, si la autoridad competente considera que no presentan ningún riesgo de propagación de ninguna enfermedad transmisible grave, con o sin procesamiento previo;

Aleshores, la necessitat o no de un tractament previ dependrà de la composició final de la barreja de purins, i de la addició o no d'altres residus diferents als purins. Un cop es defineixi la composició final, es podrà analitzar si es necessita o no tractament previ; si que s'observa però, els avantatges de utilitzar únicament purins de cara a evitar pre-tractaments en comparació amb si s'afegeixen altres residus a la barreja, on la possibilitat d'evitar aquests pre-tractaments és inexistent. Addicionalment, si ens fixem en el punt 2 de l'article 21 del mateix Reglament:

No obstante lo dispuesto en el párrafo primero, la autoridad competente podrá autorizar el transporte de estiércol entre dos puntos situados en la misma explotación o entre explotaciones y los usuarios del estiércol del mismo Estado miembro sin que vaya acompañado de un documento comercial o certificado sanitario

Queda pales aleshores les avantatges de ser una planta explotadora de residus que utilitzi únicament purins o fems. A més dels purins utilitzats com a matèria prima per produir biogàs, també hem de fixar-nos en a legislació referent als residus post digestió, o digestat. Respecte el digestat, aquest mateix Real Decret exigeix que compleixi amb el *Reglamento Europeo 142/2011* sobre la presència de bacteris en els residus després de la transformació en biogàs. Concretament, tal i com s'indica en la Secció 3 del Capítol 3 del annex V del Reglament, els paràmetres a controlar, per a mostres de 1 g, són els mostrats en la següent taula:

Taula 8: Recull de paràmetres a controlar en els residus utilitzats. Elaboració pròpia. Font: Reglament Europeu 142/2011

		n	c	m	M
Després de la transformació	<i>Escherichia Coli</i>	5	1	1000	5000
	<i>Enterococcaceae</i>	5	1	1000	5000
Durant l'emmagatzematge	<i>Salmonella</i>	5	0	0	0

On:

n = nº de mostres de l'assaig.

m, M = Valors frontera de la quantitat de bacteris permissibles.

c = nº de mostres que poden tenir una quantitat de bacteris entre els valors m i M .

Com es disposa a la Secció 1 del Capítol 1 del Annex V del *Reglamento (UE) n.º 142/2011* es necessita un laboratori propi o recórrer a un extern per a realitzar els controls sanitaris, sent el control dels paràmetres definits anteriorment un bon exemple. En el article 12 del mateix Reglament s'especifica que s'ha de seguir les especificacions de protecció del medi ambient especificades en la *Directiva 2008/98/CE* [(23)]. Si s'analitza aquesta directiva s'observa que prioritza la reducció de residus sobre la resta d'opcions, tot i això, fomenta que els estats prenguin mesures per tal de incentivar el compostatge i digestió de biorresidus, fomentant així directament el ús de materials obtinguts a partir de biorresidus i la valorització energètica dels mateixos com indiquen els articles 13 i 22. Un cop utilitzats, tant els residus SANDACH com la resta de residus utilitzats deixaran de considerar-se residu doncs el biogàs tindrà una finalitat específica i existeix un mercat per a la resta de subproductes, requisits exigits per l'article 6 d'aquesta directiva.

2.4.2. Marc energètic

La *Ley 24/2013* [(24)] del sector elèctric regula tots els mercats d'energia elèctrica per tal de garantir la estabilitat del sector elèctric. En els seus articles 6 i 1, estableix que són subjectes del sector elèctric aquells que es dediquin a una de les activitats recollides en el subministrament d'energia elèctrica, com és la generació o producció. En aquests mateixos articles s'estableix que la producció d'energia elèctrica és una activitat empresarial liberalitzada, i de la que cap esperar una retribució econòmica. Així doncs, cap esperar una retribució econòmica per la generació d'energia elèctrica mitjançant l'equip de cogeneració de la planta de gestió de residus, sempre que sigui registrada com a productor d'energia elèctrica, amb els drets i obligacions que comporta.

Tal i com recull la *Ley 24/2013*, existeixen diferents opcions mitjançant les quals un productor d'energia elèctrica pot obtenir una retribució per la venda d'energia elèctrica, que són les següents:

- *Retribución asociada a la energía eléctrica negociada a través de los mercados.*
- *Retribución por los servicios de ajuste.*
- *Retribución para la producción de energía en sistemas eléctricos no peninsulares.*
- *Retribución específica para la producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables.*
- *Retribución por autoconsumo.*

Adicionalment, i de forma contemporània al desenvolupament d'aquest treball, es formula el *Real Decreto Ley 23/2020* [(25)], on s'estableixen noves mesures per a la reactivació econòmica de les energies renovables, entre altres. Serà estudiat conjuntament a les opcions esmentades anteriorment per analitzar les diferents possibilitats disponibles de cara a establir uns ingressos per la venda de energia i la consegüent viabilitat de la planta. D'aquestes, es descarta la retribució en sistemes no peninsulars per motius obvis, mentre que les restants seran estudiades per comprendre quina o quines són les adients per aquest projecte.

Retribución por autoconsumo

L'autoconsum està recollit a l'article 9 de la *Ley 24/2013* [(24)] i distingeix dos classificacions, autoconsum amb o sense excedents. Aquest projecte pretén dissenyar una planta de biogàs amb aprofitament del mateix mitjançant cogeneració, donant per suposat aleshores que la producció elèctrica serà superior al consum de la mateixa ja que es vol obtindre un benefici econòmic de la mateixa. Aleshores, la classificació que encaixa és la de autoconsum amb excedents.

Més concretament, el *Real Decreto 244/2019* [(26)] legisla sobre específicament sobre la retribució per autoconsum, amb o sense excedents. En el article 4 s'estableixen els dos subgrups que componen l'autoconsum amb excedents, depenent de si opten o no a compensació. Si s'analitza aquest Real Decreto, s'observa que el problema amb la retribució per autoconsum sorgeix aleshores per la definició del mecanisme de compensació, aplicable a la modalitat de autoconsum amb excedents acollida a compensació, com recull el article 14 del *Real Decreto 244/2019*. Literalment, el article 14 recull la següent informació:

'En ningún caso, el valor económico de la energía horaria excedentaria podrá ser superior al valor económico de la energía horaria consumida de la red en el periodo de facturación, el cual no podrá ser superior a un mes. Asimismo, en el caso de que los consumidores y productores asociados opten por acogerse a este mecanismo de compensación, el productor no podrá participar de otro mecanismo de venta de energía'.

Així doncs, no es pot obtenir un saldo econòmic positiu mitjançant el autoconsum amb excedent acollit a compensació; això fa que no sigui d'interès per aquest projecte.

Retribución específica para la producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables

D'altra banda, la *Retribución específica para la producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables* es legisla mitjançant l'article 14 de la *Ley 24/2013* i el *Real Decreto 413/2014* [(27)]. Aquesta compensació va ser dissenyada per tal de promoure un sistema elèctric descarbonitzat i

fomentar les instal·lacions de energies renovables i cogeneracions d'alta eficiència que no utilitzessin combustibles fòssils.

El problema derivat d'aquesta retribució és la seva convocatòria irregular, és a dir, l'apartat 7 de l'article 14 de la Ley 24/2013 cita textualment:

'Excepcionalmente, el Gobierno podrá establecer un régimen retributivo específico para fomentar la producción a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración de alta eficiencia y residuos, cuando exista una obligación de cumplimiento de objetivos energéticos derivados de Directivas u otras normas de Derecho de la Unión Europea o cuando su introducción suponga una reducción del coste energético y de la dependencia energética exterior'

No és descartable que els règims de concurrència i convocatòries per al règim específic agafin un caràcter anual, avui dia però, només sabem amb certesa que les últimes convocatòries realitzades pel *Ministerio de Transición Ecológica* per acollir-se al regim específic data de Juliol del 2017 com recull el propi ministeri a la seva pàgina web i la *Disposición 9317 del BOE núm. 185 de 2017* [(28)]. Per si es tornes a obrir una convocatòria, o per altres procediments legislatius, és necessari saber que les cogeneracions alimentades majoritàriament de biogàs provinent de dejeccions ramaderes estan considerades dintre del subgrup b.7.2, com s'indica en el article 2.

Retribución por los servicios de ajuste

El sistema elèctric necessita de un equilibri constant en la potència generada i la consumida, doncs tal i com s'aprecia en la imatge següent, una variació brusca podria comportar un canvi en la freqüència i la conseqüent fallida en la xarxa. Per evitar aquest problema, Red Eléctrica de España, com a operador del sistema elèctric, ha de garantir que s'hi disposa de instal·lacions de producció preparades per assegurar el subministrament d'energia en cas que sigues necessari.

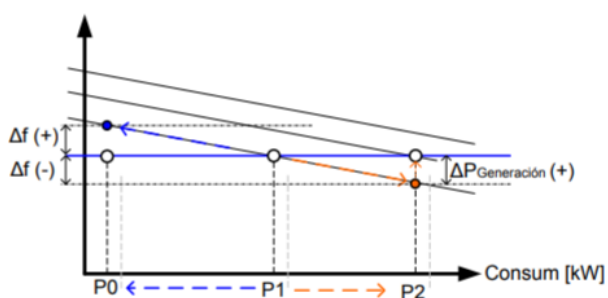


Figura 7: Relació entre increments en la potència demanda i la freqüència de la xarxa. Font: Assignatura Regulació del Sistema Energètic. UPC

Tal i com es defineix en el article 14 i 15 del *Real Decreto 2019/1997 (29)*, de 26 de Diciembre, aquests serveis complementaris poden ser obligatoris o potestatus, sent aquest últims els únics en els que existeix un mercat i es pot percebre una retribució. Aquest mercat, a diferència del diari i intradiari, esta gestionat íntegrament pel operador del sistema, que és qui determina quina capacitat de 'reserva' necessita, i no pel operador de mercat.

El servei obligatori no retribuït és la regulació primària, que consisteix en un control de la freqüència de la xarxa per tal de mantenir els 50 Hz necessaris en cas de variacions o desnivells en els primers moments de la incidència. Com hem vist en la imatge anterior, desviacions en la freqüència de la xarxa es compensen augmentant o disminuint la producció elèctrica; aquest servei té una duració màxima de 20 segons, moment en el que, si la desviació perdura, entren en joc altres serveis. Al ser una actuació breu durant els primers segons de la incidència, no es basa en una resposta centralitzada sinó que qualsevol generador connectat a xarxa que sigui habilitat per donar aquesta resposta la pot donar.

Els serveis potestatus, i pels que aleshores es pot obtindre una retribució, estan legisats mitjançant la *Resolució de 18 de diciembre de 2015[(30)]*, que legisla sobre el mercat del serveis d'ajusts. Els serveis retribuïbles són els següents: regulació secundària, regulació terciària i gestió de desviaments.

La regulació secundària és un servei complementari, similar a la regulació primària, però en aquest cas es dona quan el desnivell de freqüència s'allarga més de 20 segons; concretament la regulació secundària funciona en una franja del segon 20 al minut 15 de la incidència. En cas de que la incidència en la freqüència sigui superior als 15 minuts, és quan s'activa la regulació terciària. Un altre motiu pel qual actua la regulació secundària i terciària és per complir amb el subministrament d'energia interconnexionada amb altres països. En aquests casos, la resposta sí és centralitzada i la dirigeix l'operador del sistema, Red Eléctrica de España, mitjançant el seu organisme RCP o Regulación Compartida Peninsular. A efectes pràctics, tal i com es recull en el Annex I de la *Resolució de 18 de Diciembre de 2015*, el RCP regula de forma central però deriva la actuació a les zones de regulació.

La gestió de desviaments tenia com a funció solucionar els desajusts que no haguessin pogut ser solucionats en el mercat intradiari, amb més previsió que si fossin solucionats per el mercat d'ajusts. Avui dia però, el *Reglamento 2015/1222 de la Comisión Europea de 24 de julio de 2015[(31)]*, va promoure un mercat intradiari continu d'energia en el que OMIE, el operador de mercat estatal a Espanya, va ser un dels grans impulsors; així doncs aquesta gestió està sent substituïda per el mercat continu intradiari.

Tal i com s'il·lustra en la imatge següent, aquests mercats es basen en el mateix principi de corregir desviacions però es diferencien sobretot en la durada del mateix.

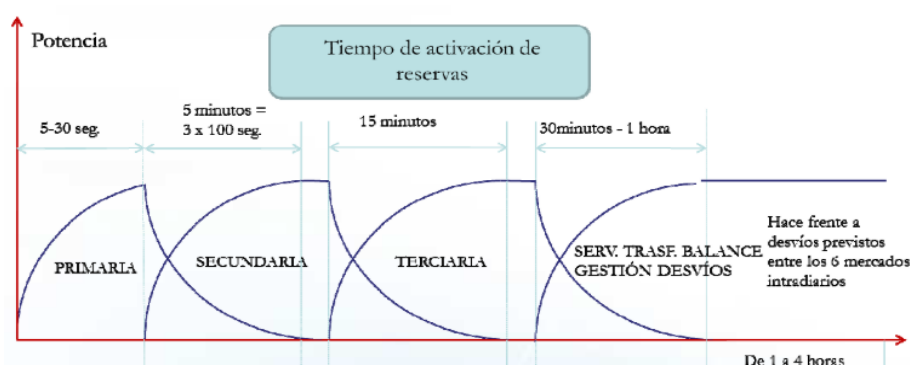


Figura 8: Regulació temporal dels diferents serveis d'ajust. Font: Regulació del Sector Energètic. UPC

Aquesta mateixa resolució determina també les diferents condicions necessàries per a poder participar en el mateix, de les que podem destacar el següent:

- El valor mínim de les ofertes per poder participar en el servei d'ajust és de 10 MW.

Aquest fet és un factor a tenir en compte de cara a estudiar la possibilitat d'acollir-se al mercat del servei d'ajust, doncs la potència instal·lada dependrà de la quantitat de biogàs produït. En el capítol d'Enginyeria del Projecte s'estimarà la potència a instal·lar i així doncs es podrà estudiar la factibilitat d'instal·lar d'acollir-se a aquest concepte retributiu.

Retribución asociada a la energía eléctrica negociada a través de los mercados.

Els principals mercats existents als que es pot accedir i rebre una retribució sent productors d'energia elèctrica són el mercat diari i el mercat intradiari.

El mercat diari és un mercat que s'organitza en 24 franges horàries, fent l'equivalent a les hores naturals. En aquest mercat, els productors realitzen ofertes sobre la seva producció d'energia, cadascú al preu que consideri idoni, i els comercialitzadors les seves propostes de compra d'energia; per equilibrar les ofertes de producció i de compra s'hi utilitza el mètode de la cassació. El mètode de cassació per fixar un preu a la energia consisteix en ordenar les ofertes de producció d'energia de menor a major preu de forma agregada, i realitzar el mateix amb les ofertes d'adquisició però de major a menor preu. Així doncs, el punt on es creuen les dues corbes agregades és el punt de cassació, i estableix el preu i la quantitat d'energia negociada; la imatge següent recull un procés de cassació per a una franja horària concreta. Com el mercat diari consta de 24 franges horàries, es realitza un procés per a cadascuna, donant així un preu i quantitat d'energia específica per a cada franja.

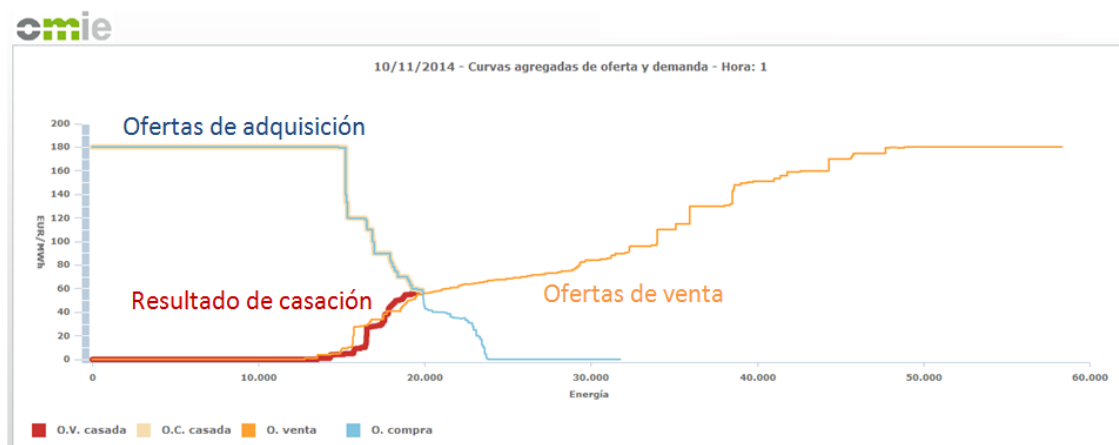


Figura 9: Representació mètode cassació. Font: OMIE

Tal i com estableix la *Ley 24/2013 del 26 de Diciembre* [(24)], tots els productors que no estiguin en disposició d'un contracte bilateral d'entrega d'energia o de qualsevol fórmula existent, tenen la obligació de participar en el mercat diari d'energia.

El fet que el mercat diari gestioni la oferta i demanda per el dia següent fa sorgir la possibilitat de desajusts entre la energia requerida i la ofertada, aquests desajusts són corregits en el mercat intradiari. Tal i com s'extreu de la web de l'operador de mercat, OMIE, existeixen dos tipus de mercats intradiaris, el intradiari de subhastes i el continu. El funcionament del mercat intradiari de subhastes és similar al funcionament del mercat diari, però la diferència principal és que el mercat intradiari s'encarrega dels ajusts provinents del resultat del mercat diari. El mercat intradiari continu realitza ajusts fins a una hora abans de l'entrega de l'energia mentres que el de subhastes té sessions més controlades i regulades, a més pot accedir a la capacitat d'altres països sempre que hi hagi interconnexió fronterera.

Com a productors d'energia elèctrica podem ser registrats com a agents del mercat de producció, accedint així al mercat de producció diari i intradiari. Tal i com s'extreu de la regla 4rtª i 5ª de la *Resolución de 9 de Mayo de 2018* [(32)], que regula i defineix les regles de funcionament del mercat diari e intradiari de producció d'energia elèctrica. Els requisits de la sol·licitud per a ser agent del mercat de producció són els següents:

- *Documento acreditativo, con la necesaria fehaciencia, de las facultades del firmante de la solicitud y, en su día, del firmante del contrato de adhesión.*
- *Número de Identificación Fiscal (NIF) de la entidad presentadora de la solicitud.*
- *Aquella documentación requerida por el operador del mercado para posibilitar la actuación y participación efectiva del solicitante en dicho mercado, entre otra y a meros efectos*

indicativos, personas de contacto con las diferentes direcciones del operador del mercado, datos de unidades de venta, de adquisición y de unidades físicas, datos de liquidación y facturación, ficha de medios técnicos y de comunicación, indicando las características del sistema informático del futuro agente para acceder al Sistema de Información del Operador del Mercado.

– Cualquier otra documentación exigible conforme a la normativa aplicable, especialmente la relativa a las autorizaciones administrativas e inscripciones en los registros que sean necesarias.

Real Decreto Ley 23/2020

Espanya, com a Estat membre de la Unió Europea, i com a membre de l'acord de París, ha adquirit el compromís de fomentar les energies renovables. Concretament, el compromís de l'Estat es defineix en el pla PNIEC o Plan Integrado de Energía y Clima , que preveu la instal·lació de 60 GW d'energies renovables al llarg del període 2021-2030. Així doncs, aquesta voluntat i estratègia necessita de un marc econòmic i legislatiu que la suporti, sent el *Real Decreto-ley 23/2020[(25)]* i el *Real Decreto 960/2020[(33)]* la legislació creada per a la regulació econòmica del foment de les energies renovables.

En el *Real Decreto-ley 23/2020[(25)]* es desenvolupen les modificacions de les lleis existents tals com la *Ley 24/2013*, entre altres, amb la finalitat de poder incorporar a les mateixes conceptes que no hi eren tan presents en el moment de la aprovació de les lleis anteriors. Es crea l'espai per conceptes com els titular de instal·lacions de emmagatzematge, o les infraestructures de recarrega de vehicles elèctrics amb potències elevades, com els projectes de recuperació de l'energia elèctrica de infraestructures ferroviàries per la recarrega de vehicles elèctrics. Respecte aquest projecte, l'article més rellevant és l'article 2, que modifica a la seva vegada el article 14 de la *Ley 24/2013[(24)]* afegint el següent:

'7 bis Adicionalmente al régimen retributivo específico previsto en el apartado anterior, al objeto de favorecer la previsibilidad y estabilidad en los ingresos y financiación de las nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovable que se construyan, el Gobierno desarrollará reglamentariamente otro marco retributivo para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovable, basado en el reconocimiento a largo plazo de un precio fijo por la energía.

El referido marco retributivo se otorgará mediante procedimientos de concurrencia competitiva en los que el producto a subastar será la energía eléctrica, la potencia instalada o una combinación de ambas y la variable sobre la que se ofertará será el precio de retribución de dicha energía.

En los procedimientos de concurrencia competitiva, que deberán estar orientados a la eficiencia en costes, se podrá distinguir entre distintas tecnologías de generación en función de sus características técnicas, tamaño, niveles de gestionabilidad, criterios de localización, madurez tecnológica y aquellos otros que garanticen la transición hacia una economía descarbonizada, así como tener en cuenta las particularidades de las comunidades de energías renovables para que estas puedan competir por el acceso al marco retributivo en nivel de igualdad con otros participantes, todo ello de acuerdo con la normativa comunitaria.

En el caso de instalaciones de pequeña magnitud y proyectos de demostración se les podrá eximir del procedimiento de concurrencia competitiva para el otorgamiento de los referidos marcos retributivos de acuerdo con lo que se desarrolle reglamentariamente. En estos casos, se podrá utilizar como referencia retributiva el resultado de dichos procedimientos, garantizándose la orientación a la eficiencia en costes.'

El marc retributiu al que fa referència aquest afegit és el marc que es desenvolupa en el *Real Decreto 960/2020* [(33)], que serà analitzat a continuació per veure quines són les condicions per acollir-se i que ofereix; és interessant realitzar aquest anàlisi per veure estudiar si podria afectar al projecte i com ho fa en cas afirmatiu. L'objectiu d'aquest *Real Decreto* és el de reduir emissions i transicionar cap a un sistema elèctric 100 % renovable, per assolir aquest objectiu desenvolupa un marc retributiu diferent al regim específic ja existent destinat únicament a tecnologies de generació renovable. A més, les tecnologies renovables cada vegada disposen de un preu menor d'exploració, fent que el fet de finançar projectes de generació elèctrica pugui ajudar a que la cassació al mercat diari o intradiari sigui en un preu més baix, amb el benefici que això suposa per al consumidor. Per complir això, una de les condicions d'aquest nou marc retributiu és la obligació de presentar ofertes, ja sigui al mercat diari o intradiari. Es veu doncs que pot resultar interessant acollir-se a aquest *Real Decreto*, i si ens fixem en la disposició tercera, declara el següent:

'El ámbito de aplicación del real decreto está integrado por las instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables definidas en la categoría b) del artículo 2.1 del Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos'

Com s'ha vist en altres apartats del projecte, aquest projecte s'integra dintre de la subcategoria b.7 definida en el *Real Decreto 413/2014* [(27)], per lo que no hi hauria cap problema en aquest sentit.

Aquest *Real Decreto* obre aleshores un nou marc retributiu al que acollir-se, tal i com altres marcs retributius anteriorment, s'hi pot accedir mitjançant un procés concurrència competitiva, llevat de les instal·lacions de petita magnitud, que podran ser exemptes de participar en aquest procés. En el article 3 es defineix el següent:

‘En el caso de instalaciones de pequeña magnitud y proyectos de demostración, la orden por la que se regule el mecanismo de subasta podrá establecer su exención del procedimiento de concurrencia competitiva para el otorgamiento de los referidos marcos retributivos. En estos casos, se podrá utilizar como referencia retributiva el resultado de dichos procedimientos. A estos efectos, se considerarán instalaciones de pequeña magnitud aquellas cuya potencia instalada sea inferior a 5 MW’

Així doncs, pot ser important per al nostre projecte que la potència instal·lada no superi els 5 MW, per a major facilitat de cara a acollir-se a aquest règim econòmic; tot i això, no serà un criteri decisiu de cara a la selecció de la potència instal·lada. El caràcter econòmic d’aquest nou marc retributiu està encara en desenvolupament, però l’article 6 ja indica el següent:

‘1. Con carácter general, la aplicación del régimen económico de energías renovables no es compatible con la percepción del régimen retributivo específico previsto en el Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, ni con ayudas que se otorguen para la misma finalidad y vinculadas a la misma inversión, procedentes de cualesquiera administraciones públicas o entes públicos o privados, nacionales, de la Unión Europea o de otros organismos internacionales.

- 3. Excepcionalmente, la orden por la que se regule el mecanismo de subasta podrá, justificadamente, determinar la compatibilidad con determinadas ayudas en aquellas situaciones en las que se produzca una mejora de la eficiencia económica del sistema eléctrico y un impacto favorable sobre los consumidores’*

Així doncs, anul·la la possibilitat de acollir-se a altres subvencions de un context energètic o amb la finalitat de generació elèctrica, però no descarta la possibilitat de rebre ajudes que puguin ser compatibles. Sembla més probable doncs poder acollir-se a aquest règim econòmic més que al règim específic, de fet, presumiblement aquest règim econòmic resultarà substitutori del règim específic.

3. Enginyeria del projecte

En aquest apartat es desenvolupa tècnicament la planta de digestió, tant els aspectes relacionats amb la gestió dels residus i la producció de biogàs, com aquells més relacionats amb l'aprofitament energètic del mateix; així com els equipaments auxiliars disponibles, com bé poden ser els sistemes de bombeig. En la següent imatge podem observar els principals processos i elements d'una planta de digestió anaeròbia, aquests doncs, són els elements bàsics en una planta de digestió anaeròbia i seran els principals elements a dimensionar en aquest treball:

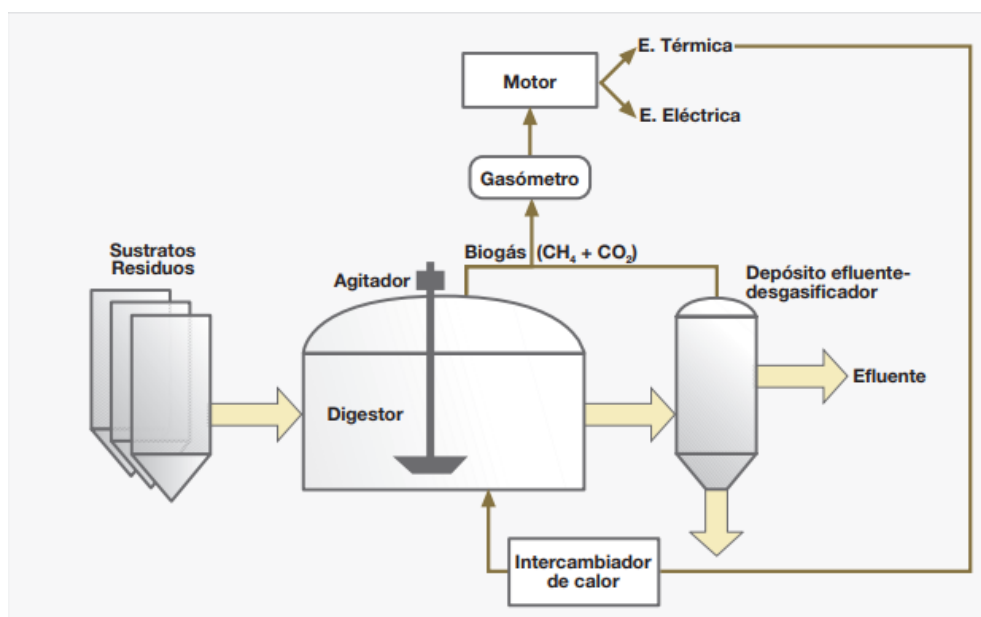


Figura 10: Elements d'una planta de digestió anaeròbia. Font: ARC

A diferència d'altres projectes, on la planta de gestió de residus es dissenya en funció de les característiques concretes de una granja, el fet de realitzar aquesta projecte de planta centralitzada com a proposta de 'que es podria fer' dona massa variables a definir. Així doncs, respecte les consideracions de entrada de purins es considerarà el següent:

- Es considera que les granges participants del projecte s'encarreguen cadascuna de fer arribar els purins a la planta de forma diària.
- Es considera que fan arribar els purins mitjançant algun transport amb tanc, com un petit camió cisterna.
- Els purins són un residu calent i que reacciona de forma exotèrmica amb l'ambient. Per això es considera que en les situacions amb pitjor temperatura ambient els purins disminuiran la temperatura fins a 5°C, tot i que la temperatura ambient sigui inferior.
- La entrada de purins al digestor es realitzarà un únic cop al dia, i per estimar una potència de bombeig considerarem que la descàrrega dura una hora.
- El circuit bescanviador de calor que es proposa és un circuit d'aigua tancat, presumiblement de vapor degut als seus elevats valors de entalpia.

3.1. Consideracions inicials

Adicionalment a les consideracions operatives esmentades anteriorment, és necessari tenir en compte consideracions tècniques presents en qualsevol projecte d'enginyeria com bé és la velocitat màxima a la que pot circular un fluid per una canonada o les dimensions normalitzades de canonades. És per això que prèviament a la caracterització dels elements bàsics de la planta es recolliran les principals consideracions de disseny tècniques. En la següent taula, extreta dels apunts de Transport de Fluids Energètics, es recull la velocitat màxima permesa segons el fluid i el tipus de flux:

Taula 9: Velocitat recomanada per a diferents fluids. Font: Transport de Fluids Energètics. UPC

Fluido	Tipo de Flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0.5 – 1	0.15 – 0.30
	Entrada de bomba	1 – 3	0.3 – 0.9
	Salida de bomba	4 – 10	1.2 – 3
	Línea de Conducción	4 – 8	1.2 – 2.4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0.2 – 0.5	0.06 – 0.15
	Salida de bomba	0.5 – 2	0.15 – 0.6
Vapor de Agua		30 – 50	9 – 15
Aire o gas		30 – 100	9 – 30

Taula 7. Recomanacions per fer passar un fluid en canonades

Un altre detall constructiu important és la normalització de les canonades, doncs si escollim una velocitat màxima en un tram, i els cabals a tractar, tant sigui de purins com biogàs també estan determinats, dona lloc a un diàmetre de canonada concret. El problema resideix en que els diàmetres de les canonades estan normalitzats, tal i com es mostra en la següent taula:

Taula 10: Diàmetres normalitzats de canonades. Font: Transport de Fluids Energètics. UPC

DIMENSIONES TUBERÍAS HIERRO Y ACERO

D nominal (")	D interno (mm)	Sección nominal interna (cm ²)
1/8	6,8	0,36
1/4	9,2	0,66
3/8	12,5	1,23
½	15,7	1,93
¾	20,8	3,40
1	26,7	5,60
1 ¼	35,0	9,62
1 ½	40,9	13,16
2	52,5	21,6
2 ½	62,8	30,8
3	77,9	47,7
3 ½	90,2	63,8
4	102,3	82,1
5	128,3	129,1
6	154,2	186,4

Per el dimensionament de les canonades doncs, en cas de no coincidir el diàmetre trobat amb cap normalitzat, s'escollirà l'immediatament superior. Això és així degut a que aquest factors es relacionen entre ells de la següent forma:

$$velocitat = \frac{cabal}{superficie} \quad (\text{equació 3.1})$$

3.2. Biogàs

3.2.1. Caracterització dels paràmetres

Per a la realització dels càlculs i diferents estimacions de paràmetres, es considera com a referència la guia tècnica de l'ICAEN 'Producció de biogàs per codigestió anaeròbia' [(13)], així com el treball del professor emèrit de la UPC Xavier Flotats, 'Digestión anaerobia de purines de cerdo y co-digestión con residuos de la industria alimentaria' [(34)].

Tal i com s'extreu de la guia de l'ICAEN, els factors que es poden controlar per tal d'optimitzar la producció de biogàs són la relació C/N, la velocitat de càrrega orgànica i el temps de retenció hidràulic. Aquests últims influeixen directament també en el disseny de l'equipament, mentres que la relació C/N només és un condicionant de la reacció. Per calcular els valors d'aquest paràmetres però primer haurem de calcular que percentatge representa cada tipus de purí a la composició, doncs cada tipus té

les seves propietats, recuperant la informació de l'apartat 3.2.1. *Identificació idoneïtat planta* trobem que:

$$\%purins porc = \frac{59340}{62860} = 0,944 = 94,4\%$$

$$\%purins gallina = \frac{1000}{62860} = 0,0159 = 1,59\%$$

$$\%purins boví = \frac{59340}{62860} = 0,0401 = 4,01\%$$

Observem que en aquesta primera proposta de composició, els purins de porc representen gairebé el total dels residus tractats, degut als motius explicats en la introducció. Un cop calculat el percentatge que representa cada tipus de residu, es poden calcular els diferents paràmetres característics de la barreja de residus:

Sòlids Volàtils (SV): La relació de sòlids volàtils (SV) esta establerta per a diferents dejeccions ramaderes en la guia de l'ICAEN, i la trobem en la taula 6 localitzada en l'apartat 3.2.1. *Identificació idoneïtat planta*. Agafant aleshores la relació SV de cada tipus de dejecció que tractem i el percentatge que representa respecta el total, podrem estimar la relació SV final. Així doncs:

$$0,944 * 33,9 (SV_{porcs}) + 90,2 (SV_{boví}) * 0,0401 + 200,8 (SV_{gallina}) * 0,0159 \\ = 38,821 (SV_{total})$$

Sòlids Totals (ST%): El percentatge de Sòlids Totals serà utilitzat més endavant per a calcular altres paràmetres com per exemple la capacitat calorífica dels purins, gràcies a la guia de l'ICAEN esmentada [(13)], sabem que aquest percentatge en porcs d'engreix es situa en un 8%.

En el TFG '*Aprovechamiento energético de biogás*' de Paula Lamo per la Universidad de Cantabria, [(35)] ens indiquen que el percentatge en boví és del 13%. Per últim, en l'estudi '*Gestión ambiental de residuos avícolas mediante digestión anaerobia para la producción de fertilizantes orgánicos líquidos*' realitzat per la Universidad Nacional Agraria de Lima, [(36)] trobem que el percentatge per a aviram és força més gran que per els altres dos residus, doncs presenta una mitja de 59,41%.

El percentatge de Sòlids Totals de la mescla de dejeccions serà aleshores el presentat en la següent taula:

Taula 11. Composició de la mescla i % de ST. Font: Elaboració pròpia.

Dejecció	% mescla	%ST
Porc	94,4	8
Boví	4	13
Aviram	1,6	59,41
Total	100	9,02%

Així doncs, el percentatge de ST es considera un 9,02%.

M³ CH₄/kg SV: La producció de biometà esperada per metre cúbic de sòlid volàtil és un paràmetre que també es pot extreure de la taula 6 localitzada en l'apartat 3.2.1. *Identificació idoneïtat planta*. Així doncs, al ser un altre paràmetre que varia depenent de l'origen del purí, haurem de calcular el valor resultant tenint en compte la composició total.

$$\begin{aligned} \frac{m^3}{kg SV} \text{ total dejeccions} &= \\ &= \left(\frac{59340 \text{ purins porc}}{62860 \text{ purins totals}} * 0,347 \right) + \left(\frac{2520 \text{ purins bovi}}{62860} * 0,196 \right) \\ &\quad + \left(\frac{1000 \text{ purins gallina}}{62860} * 0,272 \right) = \mathbf{0,33975} \frac{m^3 \text{ biogàs}}{kg SV} \end{aligned}$$

Relació C/N: La relació C/N esta establerta per a diferents dejeccions ramaderes en la guia de l'ICAEN, i la trobem en la taula 5 localitzada a l'apartat 3.2.1. *Identificació idoneïtat planta*. Agafant aleshores la relació C/N de cada tipus de dejecció que tractem i el percentatge que representa respecta el total, podrem estimar la relació C/N final. Així doncs:

$$\begin{aligned} \frac{C}{N} \text{ total dejeccions} &= \\ &= \left(\frac{59340 \text{ purins porc}}{62860 \text{ purins totals}} * 20 \right) + \left(\frac{2520 \text{ purins bovi}}{62860} * 24 \right) + \left(\frac{1000 \text{ purins gallina}}{62860} * 15 \right) \\ &= \mathbf{20,08} \end{aligned}$$

La relació C/N més òptima es dona en els valors compresos entre 20 i 30, en cas de que la producció de biogàs es veies inhibida per la relació C/N, una solució és la addició de residus de fruita o conreus, com la pera o el blat, molt present a tota la província de Lleida. Aquesta solució és utilitzada en el treball indicat anteriorment del professor emèrit X.Flötats [(34)].

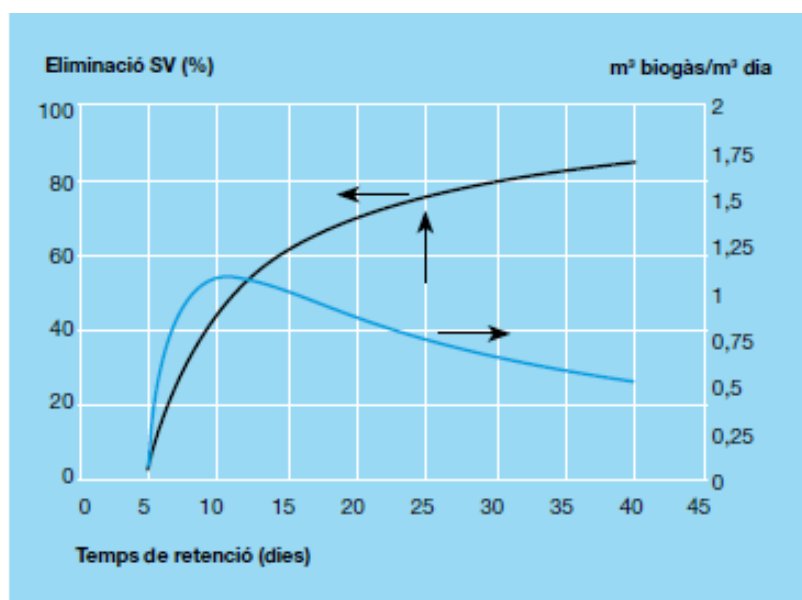
Velocitat de càrrega orgànica i Temps de retenció hidràulic:

El temps de retenció hidràulic (dies) és el quocient entre el volum del digestor (m^3) i el cabal de tractament diari (m^3/dia), mentre que la velocitat de càrrega orgànica es defineix com la quantitat de matèria orgànica que entra al digestor cada dia per metre cúbic de reactor. La velocitat de càrrega orgànica es calculada com el quocient entre la concentració de SV a l'entrada del reactor i el temps de retenció. Aquests dos paràmetres estan relacionats entre ells mitjançant les següents equacions:

$$VCO = \frac{SV}{TRH} \quad (\text{equació 3.2})$$

$$TRH = \frac{Vdig}{Q \text{ puri } \left(\frac{m^3}{\text{dia}}\right)} \quad (\text{equació 3.3})$$

A les següent gràfica podem observar com evoluciona la eliminació de SV (%) i la producció de biogàs en funció del temps de retenció al digestor. Un major temps de retenció comporta una eliminació superior de SV, però provoca una gran disminució en la producció de biogàs. Per tal de afavorir la producció de biogàs, s'escull un temps de retenció de 20 dies.



Gràfic 3: % d'eliminació de sòlids volàtils (en negre) i producció de biogàs (en blau) en funció del temps de retenció. Font: ICAEN. Producció de biogàs

Capacitat calorífica

La capacitat calorífica de una substància determina la energia necessària per augmentar la temperatura d'una substància un 1°C, però és un valor que depèn de la massa de substància. Del TFG [(35)] mencionat anteriorment podem extreure la fórmula que determina la capacitat calorífica de les dejeccions en funció de la quantitat de sòlids totals (ST), que ja ha sigut calculada:

$$CP = 4,19 - (0,02775 * ST(\%)) \quad (\text{equació 3.4})$$

Sent el resultat en kJ/(kg °C), i amb els ST calculats anteriorment (9,02%):

$$CP = 3,94 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C}$$

Aquest paràmetre resulta imprescindible per tal de poder estimar l'energia tèrmica necessària per mantenir els purins a la temperatura desitjada durant la reacció (rang mesòfil 35°C), factor a tenir en compte a l'hora de dimensionar l'equip de cogeneració.

Recollint tots els paràmetres trobats en una taula, obtenim el següent:

Taula 12: Paràmetres característics de la barreja de residus. Font: Elaboració pròpia

Característiques	
m³ puri anual	62860
%	1,6 gallina / 4 boví/ 94,4 porc
SV	38,821
ST	9,02 %
m³/ kg SV	0,33975
C/N	20
CP	3,94

3.2.2. Producció de biogàs

Per a estimar la producció de biogàs es pot utilitzar tres mètodes diferents, gràficament, mitjançant les referències de l'ICAEN o el model Chen i Hashimoto.

Gràficament, com s'indica en la guia de l'ICAEN [(13)], si sabem el temps de retenció hidràulic i la concentració de SV (SV/m^3), podem extreure la producció específica de biogàs. En el nostre cas, per un temps de retenció hidràulic de 20 dies i una concentració de sòlid volàtils de (38~40), es considera de **1,125** la producció de biogàs per metre cúbic de purí d'entrada i dia, d'aquesta manera:

$$1,125 \frac{m^3 \text{ biogas}}{\text{dia} * m^3 \text{ purí d'entrada}} * 172,212 m^3 \text{ purí d'entrada al dia} = \mathbf{193,7385} \frac{m^3 \text{ biogas}}{\text{dia}}$$

Model Chen i Hashimoto: Aquest model permet estimar la quantitat de metà produït en un tanc de mesca completa a partir de diferents paràmetres. Aquesta equació s'extreu del TFG de la Universitat de Cantabria mencionat anteriorment[(35)]; al no trobar el valor de diferents paràmetres necessaris, s'agafaran com a referència el valor referència d'aquell treball doncs les característiques dels purins són semblants. Els paràmetres que necessita i la equació són les següents:

Producció de metà per kg SV ($P_{metà}$): Calculat anteriorment, rep el valor de $0,33975 m^3$

Volum del digestor (V_{dig}): Calculat anteriorment, rep el valor de $2066,628 m^3$.

Sòlid Volàtils (SV): Calculat anteriorment, rep el valor de 38,821.

Temps de retenció (TR): Determinat en 20 dies.

Velocitat específica de creixement (v_e): No es tenen dades sobre la mateixa, però els purins tractats al TFG [(35)] tenen característiques molt semblants, doncs s'agafa com a referència: $0,33 d^{-1}$.

Constant cinètica (k): Caracteritzada com a 1,46.

La equació que estima la quantitat de metà produït és la següent:

$$P_{CH_4} = (V_{dig} * \left(\frac{SV * P_{metà}}{TR * \left(1 - \left(\frac{k}{v_e * TR} + (k - 1) \right) \right)} \right)) = \mathbf{13259} \frac{m^3 CH_4}{\text{dia}} \quad (\text{equació 3.5})$$

La tercera estimació s'extreu veient com s'estima la producció de biogàs a la guia de l'ICAEN per al dimensionament bàsic d'una planta de digestió[(13)]. La metodologia emprada és la d'estimar primer la producció específica per tona de residu, mitjançant les dades de la taula 6 i aplicant el respectiu percentatge respecte la composició total dels purins, i multiplicar-ho per el total de residus tractats anualment.

Producció biogàs

$$= 62860 \frac{m^3 \text{ purí}}{\text{anual}} * 1 \frac{\text{tona residu}}{m^3 \text{ purí}} * 0,8 \text{ (rendiment digestor)}$$
$$* 19,51476 \frac{m^3 \text{ biogas}}{\text{tona residu}} = 981358 m^3 \text{ anuals}$$

Considerant un 65% de CH₄ en la composició del biogàs, tal i com es considera a l'ICAEN i a les dades utilitzades a la taula 6, podem calcular les tres produccions en les mateixes unitats:

Gràficament: $193,7385 \frac{m^3 \text{ biogas}}{\text{dia}} * 365 \text{ dies} = 70714,5525 m^3 \text{ de biogas anuals}$

Model Chen i Hashimoto: $\frac{13259 \frac{m^3 CH_4}{\text{dia}}}{0,65} * 365 = 7445438,46 m^3 \text{ de biogas anuals}$

Recomanació ICAEN = 981358 m³ anuals

Tot i que el mètode més correcte és el model Chen i Hashimoto, la falta de coneixement de dades desvirtua el resultat. En la guia de l'ICAEN esmentada llisten un conjunt de plantes existents europees, recollides en la següent taula, i per a cabals de tractament anuals similars, el resultat més pròxim a aquests és l'estimat mitjançant la recomanació de l'ICAEN.

Taula 13: Característiques de diferents plantes de biogàs. Font: ICAEN

Volum digester (m³)	1.500	800	2.100	3.200	880	880	2.900	2.800	4.800
Temperatura procés (M,T)	M	T	M	M	M	T	M	T	T
Residus agropesquers (m³/any)	10.610	13.656	35.720	48.504	12.248	18.514	27.487	29.004	91.741
Purina bovina o vaqui	7.015	13.656	11.980	11.541	10.449	17.655	7.822	9.949	29.432
Purina de porc	3.595		23.654	32.482	1.619	841	17.718	19.055	45.232
Gallinassa				2.482					1.138
Altres fems			88	2.019			1.957		15.910
Residus de colles					180	18			29
Residus orgànics (m³/any)	5.636	6.898	13.723	9.143	6.234	11.506	18.657	14.805	23.272
Contingut intestinal		1.150	5.797	2.278	3.898	5.454	7.639	116	10.026
Fang de flotació (grasses)		2.613		3.855		6.052	8.213	6.210	4.200
Farratges			59		275			41	125
Indústria del peix	5.296	1.288			1.874		576	25	1.561
Frutes i verdura				529				1.588	
Indústria cervecera								2.208	
Indústria de la llet			2.649						
Terra filtrants d'oli		1.447	3.776						
Indústria de l'adobatge	340			1.527					
Indústries farmacèutiques		96	448	958			1.264	3.118	2.308
Altres indústries		99	994				965		
Fang de depuradora		205			187			1.501	5.052
TOTAL RESIDUS (m³/any)	16.248	20.554	49.443	57.647	18.482	30.020	46.154	43.809	115.013
% purina i fems	65	68	72	84	65	62	60	66	80
Temps retenció mitjà (dies)	34	14	16	20	17	11	23	23	15
Prod. biogàs (x1.000 m³/any)	1.492	2.013	2.348	2.275	656	1.224	2.504	1.694	3.281
m³ biogàs/m³ residu	92	98	47	39	35	41	54	39	29

3.2.3. Reformulació de la composició de la mescla.

Com observem de la taula anterior, en comparació a casos reals s'estima una producció de biogàs per m³ de purí tractat més aviat baixa. És per això que es reformula la composició, intentant obtenir una relació més grans entre aquests factors; doncs augmentar el biogàs produït augmentarà també la electricitat generada i els ingressos per la venda de la mateixa, augmentat les possibilitats d'aconseguir realitzar un proposat de projecte viable i rentable. Per això, es buscarà que els fems de gallina i boví representin un percentatge més gran del que representen ara respecte el total, en el punt 3 ja es comenta la possibilitat de incorporar més granges al projecte per obtenir més purins.

S'incorpora doncs la resta d'explotacions bovines de Oliola, que tal i com es mostra en el registre, sumen un total de 2204 caps de boví [(17)], s'afegeix també la gestió dels residus de dos granges més de aviram, que disposen de 167000 aus.[(17)] Després de incorporar les granges mencionades com a proveïdors de residus, s'aconsegueix una proporció de biogàs produït per tona de purí més elevada, concretament aquest ratio augmenta de 19,5 a 25,8.

El procediment de càlculs és el mateix que en la primera composició, i serà el mateix per a futures possibles reformulacions de la composició, així doncs:

Producció biogàs

$$\begin{aligned} &= 74954,4 \frac{m^3 \text{ purí}}{\text{anual}} * 1 \frac{\text{tona residu}}{m^3 \text{ purí}} * 0,8 (\text{rendiment digester}) \\ &* 25,8 \frac{m^3 \text{ biogas}}{\text{tona residu}} = 1.547.058,816 m^3 \text{ anuals} \end{aligned}$$

El problema es genera ara amb la relació C/N, que ens disminueix fins a 19,9. Això suposa un perill doncs la reacció es pot veure inhibida per aquest fet, per això, es proposar combinar la nova formulació amb residus agrícoles, tal i com es realitza també en el treball de X.Flotsats. [(34)] Es proposa trobar una aportació a la codigestió que augmenti la relació C/N fins a 21, doncs elimina el perill de inhibir la reacció i dona cert marge per evitar-ho amb seguretat.

Recuperant les dades de la taula 5 observem que els residus de explotacions agràries de cereals ens serviren per compensar aquest efecte amb certa solvència. A efectes de càlcul, s'estima la relació C/N dels residus agraris en 75, com a punt intermig entre el ventall de 60~90 que proporciona la guia. Al ser els farratges i el blat de moro, un residu sec i sòlid, es reformularà la composició respecte els kg que aporten cada tipus de purí.

Així doncs realitzant càlculs s'estima que si es vol que la composició augmenti la relació C/N de 19,9 a 21, es necessita 953137,78 kg anuals de residu agrícola.

Un dels problemes que presenta l'obtenció d'aquest residu cereal és la estacionalitat de aquest tipus de conreu, trobem cereals 'd'hivern' i cereals 'd'estiu'. Els cereals d'hivern es sembren a la tardor i es cullen a l'hivern, i en són exemple el blat o la civada; els cereals d'estiu, es sembren a la primavera i es cullen a l'estiu, amb el blat de moro com a exemple.

A l'Institut d'estadística de Catalunya (IDESCAT) disposem de dades sobre el cens agrari a Catalunya, que poden ser desglossades segons municipi, tipus de conreu, etc. [(37)] Consultant les dades tant de Oliola com de pobles voltants, s'observa un nombrós numero de hectàrees conreades destinades tant a cereals d'hivern i d'estiu, i amb força diversitat de cultius de cereals i farratges.

Així doncs, tot i que no es troben dades de quants residus aprofitables es generen per ha conreada, si es mira el cens agrari es prou evident que hi ha material disponible de sobre.

En el treball '*Potencial energètic de la paja de trigo en el valle de mexicali*' [(38)] realitzat per investigadors de la *Universidad Autonoma de Baja California*, es defineix que la palla té un potencial de 296,9 kg de biogàs per tona de palla; davant la falta de dades sobre altres cereals, es considera valida aquesta aproximació per al conjunt de residus agrícoles. Es pot calcular aleshores la quantitat de biogàs que afegeix aquest residu a la producció anual:

$$953137,78 \frac{kg}{any} * \frac{1tona}{1000kg} * 296,9 kg \frac{biogàs}{tona de palla} * 1 \frac{m^3 biogas}{1,2 kg biogas}$$

$$= 226389,2855 m^3 biogàs$$

Aquesta producció s'haurà de afegir a la ja estimada de la resta de residus, fent un total de 1581229,03 m³ de biogàs.

És interessant veure com es modifiquen les característiques de la barreja de purins al modificar la composició, per això es recollirà en la següent taula les propietats de les tres composicions, sent:

- 1era composició: Composició original
- 2na composició: Composició per millorar producció biogàs
- 3ra composició: Composició per assegurar relació C/N òptima

Taula 14: Evolució de les característiques de la mescla durant les diferents reformulacions. Font: Elaboració pròpia

	1era composició	2na	3ra
m ³ puri anual	62860	74954,4	74954,4 + farratges
%	1,6 gallina / 4 boví/ 94,4 porc	10,2 gallina/ boví/ 79,2 porc	10,6 "
SV	38,821	56,96	"
ST	9,02 %	13,8 %	"
m ³ CH ₄ /kg SV	0,33975	0,3233	"
C/N	20	19,9	21
CP	3,94	3,807	"
m ³ biogàs produït (anuals)	955965,2997	1354839,744	1581229,03

És interessant apreciar com afortunadament, i sense seguir aquest objectiu o funció, doncs la funció principal era regular la relació C/N, els residus vegetals aporten un gran potencial de producció de biogàs a la barreja de purins. Aquells paràmetres que no es sap com pot afectar l'addició de farratges es considera que reben el mateix valor. De cara a l'elecció de un equip cogenerador, és interessant traduir la producció anual a diferents escales de temps i unitats per poder comparar la producció de biogàs amb el consum de l'equip generador. Així doncs, sabent que produïm 1581229,03 m³ de biogàs anuals i considerant el poder calorífic del biogàs com a 8600 kcal/m³ [(13)]:

$$8600 \text{ kcal} * \frac{4,184 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}} = 35982,4 \text{ kJ}$$

$$\frac{1581229,03 \text{ m}^3}{365 * 24 * 60 * 60} = \frac{0,05014 \text{ m}^3}{\text{s}} \text{ (producció biogàs per segon)}$$

$$\frac{0,05014 \text{ m}^3}{\text{s}} * \frac{8600 \text{ kcal}}{\text{m}^3} * \frac{35982,4 \text{ kJ}}{8600 \text{ kcal}} = 1804 \text{ kW}$$

Disposar d'aquesta equivalència resultarà útil a l'hora de seleccionar un model comercial de equip cogenerador, doncs és usual que ofereixin la informació en unitats no convencionals. Addicionalment, es troba també la següent equivalència:

$$1804 \text{ kW} \rightarrow 6155504,168 \text{ BTU/h}$$

BTU és una mesura molt utilitzada en equipament de generació tèrmica i es refereix a *British Thermal Units*, i el seu ratio BTU per hora correspon a 0,0002931 kW.

3.3. Necessitats tèrmiques

En el digestor és on es dona la reacció de digestió anaeròbica, per tant, és on es necessita mantenir la temperatura constant a 35°C, (rang mesòfil). Aquesta aportació és realitzarà mitjançant un intercanvi de calor en el que el circuit d'aigua, que ha sigut escalfat mitjançant la calor despresa en la combustió del biogàs, aportarà calor a les dejeccions que es troben dintre del digestor. La aportació de calor no depèn només de la temperatura final desitjada pels residus sinó que també depèn de la temperatura d'entrada dels mateixos, i aquesta a la vegada depèn de la temperatura ambient. Es dimensionarà el sistema doncs per poder suplir la pitjor de les situacions, on s'estima que els purins poden tenir una temperatura de 5°C.

Sent la capacitat calorífica dels purins 3,807 kJ/kg °C, i sabent que la quantitat de purins diària equival a 1,86 kg de purí per segon, trobem la següent necessitat tèrmica:

- Necessitat tèrmica = $q_{màssic} * C_p * \Delta t$ (equació 3.6)
- Necessitat tèrmica = $1,86 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 3,807 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (35 - 5 (^\circ\text{C})) = 212,4306 \text{ kW}$

Aquesta calor provindrà del equip cogenerador (CHP), concretament del circuit d'aigua recuperador de calor que disposa, sent aleshores la necessitat tèrmica la variable principal per determinar l'equip CHP. També es dissenya el bescanviador de calor necessari entre el digestor i l'equip CHP. Per el disseny d'aquest bescanviador, hem de caracteritzar les propietats del circuit d'aigua recuperador de calor a la sortida de l'equip CHP.

3.4. Combustió del biogàs i emissions

Un aspecte també important és la combustió del biogàs, doncs conèixer la reacció ens permetrà saber quins tipus de emissions es produeixen i com es pot optimitzar per tal produir els mínims contaminants possibles. En aquest projecte, hi ha dos elements on es dona a terme la combustió del biogàs, la torxa de seguretat i l'equip de cogeneració. De la tesis '*Desarrollo de una Antorcha Multifuncional para Destrucción de Metano y Aprovechamiento de Energía Térmica*' de Sebastián Matías Silva Rey i la *Universidad de Chile* s'extraura el coneixement necessari per poder desenvolupar la proposta. [(39)]

Abans d'analitzar però la combustió del biogàs amb l'aire, es mostrarà quina és la composició estimada per al biogàs i per a l'aire:

Taula 15: Composició biogàs. Elaboració pròpia

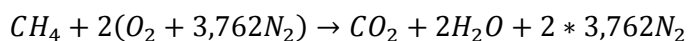
Components Biogàs	Percentatge %
CH ₄	65%
CO ₂	35%
H ₂ S, Siloxans, Contaminants	Petites concentracions

Taula 16: Composició aire. Elaboració pròpia

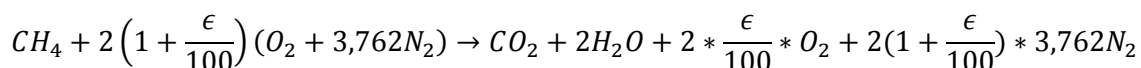
Components Aire	Percentatge %
O ₂	20,99
N ₂	78,03
Ar	0,94
CO ₂	0,03
H ₂	0,01

Que, a efectes pràctics, es sol aproximar a 21% O₂ i un 79% de N₂.

De forma genèrica aleshores, podem observar que la reacció de combustió estequiomètrica és la següent:



Si ens fixem en la reacció de combustió amb excés d'aire, trobem que:



Sent ϵ el excés de aire en %.

La raó estequiomètrica d'aire per a la combustió del metà és de 9,56 vegades per unitat de volum. Com es recull en la tesis esmentada, per assegurar la completa destrucció del metà hem de disposar d'excés d'aire a la hora de la combustió. Concretament, en el disseny que es realitza a la tesis es defineix que per la completa destrucció del metà hem de disposar de un 100% d'excés d'aire, una temperatura de combustió de 1000°C i un temps de residència dels gasos a la cambra de combustió de un mínim de 0,3 s. [(39)]

En aquells elements en els que s'hagi de dissenyar la combustió, com pot ser la torxa de seguretat, la prioritat serà la destrucció completa del metà per evitar emissions de metà no cremat a l'atmosfera. Així doncs, el disseny es realitzarà seguint les consideracions que s'esmenten a la tesis. D'altra banda, l'equip cogenerador disposarà de la cambra de combustió ja dissenyada, sent únicament possible aleshores el càlcul o estimació de les emissions i el disseny de l'estratègia a seguir per reduir al màxim les emissions derivades de la cogeneració. [(39)]

Com els equips cogeneradors solen indicar en el seu *datasheet* la calor que recuperen, i la torxa només crema biogàs amb una raó de seguretat, per evitar sobrepressions, la calor generada en la reacció de combustió no serà necessària calcular-la. En cas de incorporar qualsevol tecnologia en la torxa, bé com a proposta de futures línies de disseny o com a element que realment s'incorporarà, es calcularà la calor alliberada en funció de la característiques específiques de disseny; també pot ser calculada si resultes d'interès el calor als gasos resultants de la combustió.

Els gasos emesos poden ser calculats aleshores com la suma dels gasos producte de la combustió més el CO₂ ja present al biogàs. Tot i això, és freqüent que el biogàs contingui altres impureses i per tant siguin presents a la combustió, concretament, tal i com s'extreu de la web de divulgació de la UAB [(40)], la impuresa present més important és el sulfur d'hidrogen, H₂S, i ha de ser controlada doncs si és present al biogàs en concentracions a partir dels 400~500 ppm, aquest no pot ser utilitzat en un motor de cogeneració, a més, a partir de 700 ppm pot ser mortal.

Altres factors, com la estabilitat de la flama (evitar turbulències) també s'hauran de tenir en compte si finalment es dissenya una cambra de combustió; però no formen part de les generalitats de la combustió sinó que serà dissenyats específicament si fos necessari. [(39)]

3.4.1. Combustió a la turbina de gas

Anteriorment s'han pogut apreciar les generalitats de la combustió del biogàs, tant per el càlcul de emissions com les especificacions de disseny per tal de realitzar una combustió eficient. Aquestes especificacions poden anar bé si el disseny de l'equip cogenerador inclou el disseny de la cambra de combustió. Usualment però, com succeeix en l'equip cogenerador, la cambra de combustió del biogàs ja esta integrada dintre de l'equip comprat, sent impossible aleshores el disseny de la mateixa amb consonància amb les especificacions de disseny trobades. Si que es pot però, analitzar la combustió en la turbina de gas per veure quines són les condicions on la combustió és més òptima i les emissions de contaminants són minimitzades. Mitjançant l'article '*Experimental study of biogas combustion and emissions for a micro gas turbine*' podrem realitzar un estudi de les possibles emissions provocades per aquesta proposta de projecte, calculant factors específics com és l'índex de Wobbe.[(41)]

Tot i que hem considerat que el nostre biogàs conté únicament biometà i diòxid de carboni, és molt usual la presència d'altres components, impureses, al biogàs; aquestes impureses poden produir contaminants com el NO_x. Un altre contaminant que es pot produir és el monòxid de carboni, resultat de una mala combustió.

Per fer una estimació aleshores sobre les emissions de NO_x i CO en la combustió del biogàs produït, aprofitarem les conclusions de l'estudi esmentat anteriorment. Es calcula doncs l'índex de Wobbe i es podrà quantificar les emissions d'aquestes substàncies en ppm.

L'índex de Wobbe relaciona el poder calorífic amb la densitat relativa mitjançant la següent fórmula:

$$W_{(a)} = \frac{PC_a}{\sqrt{\rho_{relativa}}} \quad (\text{equació 3.7})$$

a és la designació per a dos valors, representant l'índex de Wobbe superior o inferior, en funció del corresponent poder calorífic. La densitat relativa és la relació entre la densitat del biogàs i la densitat de l'aire a la pressió de 1 atm i 0°C.

Prenent 1,25 kg/m³ com a densitat del biogàs i 1,2754 kg/m³ l'aire; i 8600 kcal/m³ i 9025 com a poder calorífic inferior i superior respectivament, es pot calcular els dos valors de index de Wobbe:

$$W_s = \frac{9025}{\sqrt{\frac{1,25}{1,275}}} = 9114 \frac{kcal}{m^3} = 38,13 \frac{MJ}{m^3}$$

$$W_i = \frac{8600}{\sqrt{\frac{1,25}{1,275}}} = 8685,57 \frac{kcal}{m^3} = 36,34 \frac{MJ}{m^3}$$

En les conclusions del estudi esmentat es mostren les següents gràfiques que relacionen les emissions de NO_x en ppm amb l'índex de Wobbe, per al 100% de càrrega de la turbina i el 50% (gràfic de l'esquerra i de la dreta, respectivament) i amb diverses composicions de biogàs (C4,C5,C4+,C5+) :

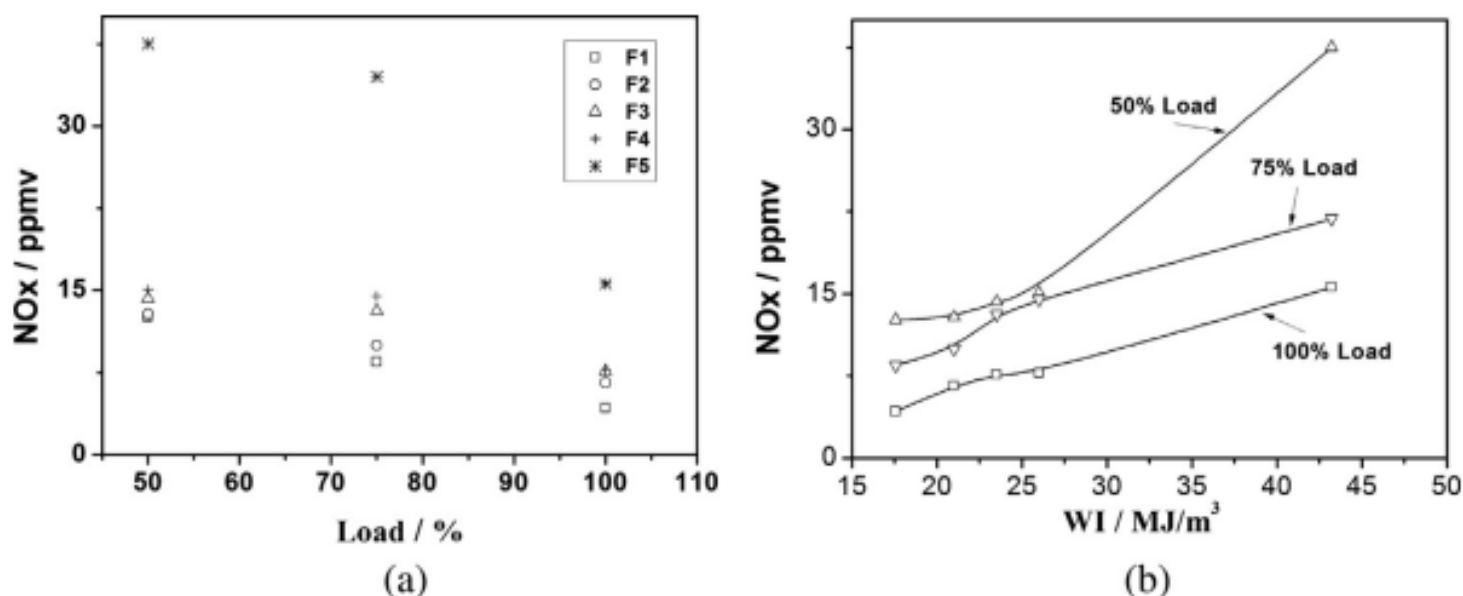


Fig. 8. (a) NO_x emission versus engine load (b) NO_x emission versus WI.

Gràfic 4: Emissions de NO_x en funció de la càrrega o del Index de Wobbe. Font: Experimental study of biogas combustion and emissions for a micro gas turbine

Taula 17: Composició de les diferents proves. Font: Experimental study of biogas combustion and emissions for a micro gas turbine

Table 1

Gas fuels with different compositions.

	CH ₄ / vol. %	CO ₂ / vol. %	WI/MJ/ m ³	LHV/MJ/m ³	Density/kg/ m ³	Molar mass/ kg/kmol
F1	50	50	17.57	17.85	1.3465	30
F2	59	41	21	21.063	1.23301	27.48
F3	62.7	37.3	23.5	22.3839	1.186353	26.444
F4	68	32	26	24.276	1.11952	24.96
F5	94.2	5.8	43.21	33.6294	0.789138	17.624

Observem que, per diferents composicions del biogàs, les emissions de NO_x es veuen reduïdes considerablement quan la microturbina es empleada al 100% de la càrrega. Suposant la nostra combinació semblant a F4, però amb un índex de Wobbe estimat superior, s'estima les emissions de NO_x en 8ppm al 100% de càrrega. Així doncs, per tal de produir les mínimes emissions possibles d'aquest contaminat, s'ha de utilitzar l'equip de cogeneració al 100% de càrrega.

Si ens fixem ara en les emissions de CO:

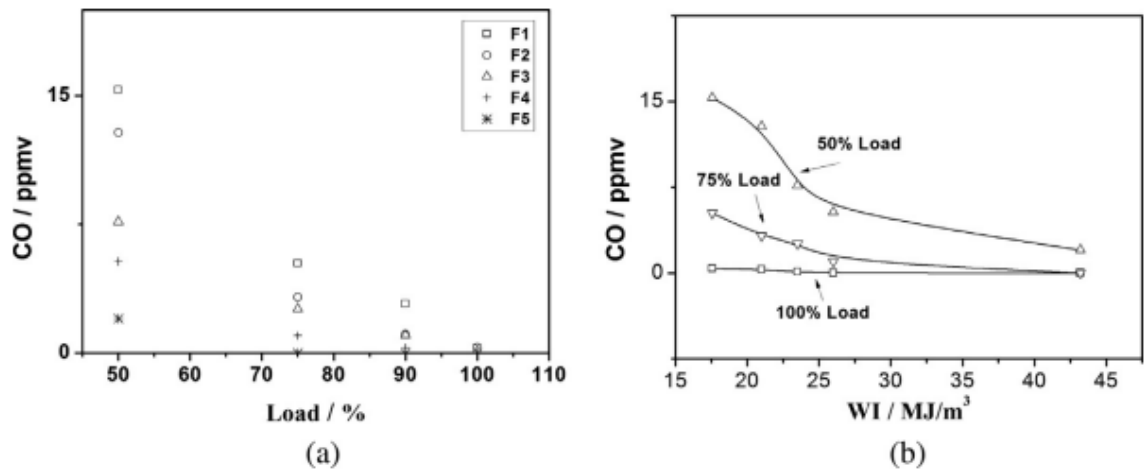


Fig. 9. (a) CO emission versus engine load (b) CO emission versus WI.

Gràfic 5: Emissions de NO_x en funció de la càrrega o del Index de Wobbe

S'observa com les considera quasi nul·les per a una càrrega de la microturbina del 100%, i més amb un índex de Wobbe elevat com el del biogàs produït; per quantificar una possible emissió de CO s'estipula que les emissions són de 0,5 ppm.

Veient com es relacionen tant les emissions de NO_x i CO amb el percentatge de càrrega, i entenent que l'objectiu d'aquesta proposta o projecte, tal i com es va definir al Capítol I, és minimitzar les emissions que suposen els purins, s'estableix com a requisit utilitzar sempre l'equip cogenerador al 100% de càrrega o a un mínim de un 90%.

En l'apartat anterior s'han calculat les necessitats tèrmiques del digestor per tal de mantenir la temperatura constant, i s'ha definit com varia la necessitat tèrmica del digestor en funció de la temperatura ambient. Així doncs, el fet de utilitzar l'equip cogenerador sempre al 100% de càrrega pot provocar que la generació tèrmica sigui superior a la necessària per escalfar el digestor; un cop definit i dimensionat l'equip cogenerador es podrà dimensionar quina és la diferència entre l'energia tèrmica necessària i la produïda, i s'estudiarà quina és la solució més òptima dintre del ventall d'opcions disponibles per intentar aprofitar aquesta diferència.

3.5. Elements de la planta

3.5.1. Recepció de purins

Serà necessària una zona de recepció de purins o dipòsit, que a la seva vegada, alimenti el digestor; aquesta zona de recepció facilita la recepció dels purins a la planta i a la vegada, assegura una correcta introducció dels mateixos al digestor. Tal i com es recull de la guia de l'ICAEN [(13)], les condicions tècniques que ha de complir l'esmentat dipòsit és que ha d'estar cobert, per evitar males olors i l'entrada d'aigua pluvial.

Concretament, sabem que en un dia la entrada de purins seria de 205 m^3 ($74954 \text{ m}^3/365$ dies), fet que fa necessari busca tecnologia de recepció de purins de gran volum, doncs es prefereix realitzar la entrada de purins al digestor en únic torn.

El producte comercial que més s'ajusta a les necessitats de la planta d'aquest projecte és el carregador de matèria prima sòlida H100, de Zorg Biogas GmbH. Tal i com es veu en la següent foto, es tracta de una tolva o tremuja pensada per recepcionar i adequar els residus sòlids en la seva entrada al digestor, doncs consta de picador o trituradora, fet que ja ens ajuda a disposar de una mida granulomètrica homogènia en els purins que entrin al digestor, sobretot si es té pensat barrejar amb els residus vegetals.



Figura 11: Imatge de la tolva receptora. Font: ZORG Biogas

Sent el seu volum total de recepció de 200 m³, pot servir inclús com a dipòsit per emmagatzemar els purins equivalents a un dia, per tal de assegurar la entrada de purins al digestor en cas de que hi hagi cap imprevist. Tal i com es detalla en la informació tècnica disposa de una llarga de 24 metres i una amplada de 3 metres, si el volum disponible és de 200 m³ s'estima que l'alçada són 2,8 metres. Aquest detall serà important de cara a dimensionar el sistema de bombeig entre la tolva receptora i el digestor.

3.5.2. Digestor

El principal paràmetre ha desenvolupar per a la elecció del digestor és el volum del mateix. Aquest dependrà de dos factors, el temps de retenció hidràulic (TRH) i la quantitat diària de purins que es tracta. Com s'ha vist en la caracterització dels paràmetres, s'estableix en 20 dies el temps de retenció hidràulic. Això fa que augmenti la taxa d'eliminació de matèria orgànica biodegradable, tot i que no representa la producció volumètrica de biogàs més òptima. A la guia de l'ICAEN ja es recomana però com a primera valoració, sense fer assajos de biodegradabilitat, que un temps de retenció de 20-25 dies produeix el 70% del màxim biogàs possible i amb un 65-70% de contingut en metà; a més, els valors que ofereixen per a la producció de biogàs (m³) per metre cúbic de purí estan referenciats a un TRH de 20~25 dies. [(13)]

La quantitat de purins tractada diàriament és un valor que s'ha utilitzat en apartats anteriors i rep el valor de 205 m³ diaris. Així doncs:

$$V_{\text{digestor}} = Q_{\text{purins(dia)}} * TRH = 205,354 * 20 = \mathbf{4107,08 m^3} \quad (\text{equació 3.8})$$

Aquest volum però representa el volum de purins que hi haurà al digestor. Per raons de seguretat, així com per tenir en compte el biogàs que es va produint, es decideix sobredimensionar un 20 % aquest volum; sent aleshores **5133,85 m³ el volum necessari**.

En el treball de final de grau '*Diseño de un digestor para una planta de biogás agroindustrial*' de Lucas Elordi Garcia per la Universidad de Cantabria [(42)], es detallen detalls constructius per a un digestor de 738,7 m³ de capacitat; tot i ser volums diferents, s'extreuen idees interessants.

En el treball esmentat anteriorment es defineix per exemple les dificultats constructives de una làmina d'aigua o alçada de la columna d'aigua excessiva, que obliga a disposar de murs més resistents i incrementa el risc de fuites, degut a una major pressió. La forma constructiva desitjada serà la esmentada en el capítol inicial, un cilindre amb cúpula; aquesta forma elimina la possibilitat de punts morts en el digestor i afavoreix la sortida del biogàs produït cap al gasòmetre.

En el treball esmentat també limiten la alçada de la lamina d'aigua o purins a 5 metres, i la alçada del mur a 6 metres, servint com a referencia també per aquest treball. D'aquesta forma, podem fer coincidir els 5 metres de alçada de la columna de purins amb el volum necessari de digestió,

$$Volum_{cilindre} = \pi * r^2 * h \quad (\text{equació 3.9})$$

$$4107,08 = \pi * r^2 * 5$$

$$r = \sqrt{\frac{4107,08}{15\pi}}$$

$$r = 16,17 \text{ m}$$

Si suposem doncs un alçada per al cilindre de 6 metres, deixant un espai de un metre entre l'alçada del cilindre i la columna de purins, observem que el cilindre ocupa el següent volum:

$$V = 6 * \pi * (16,17)^2 \rightarrow V = 4928,496 \text{ m}^3$$

La cúpula del digestor és pot estimar com un casquet esfèric que no té la alçada definida, només la base; el radi doncs, ve donat per el cilindre. Aleshores, es pot dimensionar la alçada idònia per tal de arribar al volum desitjat, que és el volum del digestor incloent el 20% de seguretat:

$$5133,85 = 4928,496 + V_{casquet} \rightarrow V_{casquet} = 205,354 \text{ m}^3$$

Si resollem la integral que determina el volum de un casquet esfèric obtenim la següent fórmula:

$$V_{casquet} = \frac{1}{3}\pi h^2(3r - h)$$

Sabent aleshores el volum desitjat i el radi, podem trobar quina seria l'alçada mínima per al digestor.

$$\left(\frac{205,354 * 3}{\pi}\right) = h^2(48,51 - h)$$

Troband una alçada mínima de 6,36 m per la cúpula.

Conèixer aquests paràmetres constructius és important tant per si no es troben models comercials i s'ha de detallar les necessitats a la constructora, com si es troben models comercials, doncs serveix com a referència de les dimensions desitjades. Però les característiques constructives o dimensionals no és l'únic paràmetre que defineix la elecció del digestor per aquest projecte. En el Càpitoll I s'han esmentat diferents tecnologies de digestors i reactors existents, sent el digestor de mescla completa amb agitador central el tipus de digestor desitjat.

Si mirem catàlegs comercials de digestors, com els que ofereix Zorg Biogas GmbH, veiem que no podem satisfer tots els nostres requeriments. Es pot seleccionar entre digestors amb cúpula, similar al

predisseny realitzat, que aprofiten la cúpula com a gasòmetre flexible però disposen de agitadors inclinats; o digestors verticals amb un agitador central, però sense la cúpula com a gasòmetre flexible.

Analizant les característiques d'un i altre, es decideix que la millor opció per aquest projecte és el digestor amb cúpula com a gasòmetre flexible, tal i com es mostra en la següent imatge; doncs a més del gasòmetre flexible, incorpora un perfil especial per instal·lar tubàries en les parets del digestor que funcionin com a bescanviador de calor, mentres que en el digestor amb agitador central el bescanvi de calor per aportar calor als purins s'hauria de realitzar de forma externa. Addicionalment, si la diferència entre el consum i la producció de biogàs és elevada es pot instal·lar un gasòmetre addicional; però s'intentarà equilibrar el màxim possible el consum amb la producció tenint en compte també la relació entre % de càrrega de la turbina cogeneradora (consum de biogàs) i les emissions de contaminants.



Figura 12: Imatge del digestor seleccionat. Font: ZORG Biogas

Tenint en compte que el volum necessari amb el 20% de seguretat és de 5133,85 m³, i les recomanacions esmentades anteriorment sobre la alçada de la lamina de purins, s'escull entre les opcions disponibles un digestor amb 34,15 metres de diàmetre i 5,87 metres d'alçada, que ofereix un volum de 5377 m³, suficient volum per actuar de digestor i gasòmetre.

3.5.3. Equip de cogeneració

Per a la elecció del equip cogenerador els factors més importants a tenir en compte són les necessitats tèrmiques que es volen cobrir, la producció de biogàs i mantenir un percentatge de càrrega elevat per tal de no elevar les emissions.

Les necessitats tèrmiques que es volen cobrir han sigut calculades anteriorment i representen un valor molt més menor que la calor que es pot arribar a aprofitar degut a la crema del biogàs. S'estableix doncs que l'equip cogenerador ha de recuperar com a mínim la calor necessària per el digester; però veient la producció de biogàs, el poder calorífic del mateix i la condició de mantenir un percentatge de càrrega elevat, és dona per suposat que aquesta condició es complirà.

La producció de biogàs i un percentatge de càrrega elevat són dues condicions que van lligades; es buscarà doncs, dintre dels models comercials existents, un equip cogenerador que el seu consum sigui el més semblant a la nostra producció per tal de utilitzar sempre l'equip al màxim percentatge possible de càrrega. No s'escollirà cap equip cogenerador on el consum sigui inferior a la producció doncs es vol aprofitar el màxim biogàs possible.

Seguint aquest criteri el model seleccionat és el C600S del fabricant Capstone, dintre del catàleg de models tenen turbines pensades per a diferents tipologies de combustibles tals com *High Pressure Sour Natural gas, Liquid fuels, Landfill gas, entre altres.* [(43)] Sent la opció *Digester gas* la idònia per aquesta aplicació, les principals característiques tècniques del mateix es poden trobar en la imatge següent, extreta del datasheet:

Electrical Performance⁽¹⁾

Electrical Power Output	600kW
Voltage	400/480 VAC
Electrical Service	3-Phase, 4 Wire Wye
Frequency	50/60 Hz
Electrical Efficiency LHV	33%

Fuel/Engine Characteristics⁽¹⁾

Natural Gas HHV	30.7–47.5 MJ/m ³ (825–1,275 BTU/scf)
Inlet Pressure	517–551 kPa gauge (75–80 psig)
Fuel Flow HHV	7,200 MJ/hr (6,840,000 BTU/hr)
Net Heat Rate LHV	10.9 MJ/kWh (10,300 BTU/kWh)

Exhaust Characteristics⁽¹⁾

NOx Emissions @ 15% O ₂	< 9 ppmvd (18 mg/m ³)
Exhaust Mass Flow	4.0 kg/s (8.8 lbm/s)
Exhaust Gas Temperature	280°C (535°F)

Dimensions & Weight⁽²⁾

Width x Depth x Height ⁽³⁾	3.0 x 5.8 x 2.9 m (117 x 230 x 114 in)
Weight - Grid Connect Model	11,250 kg (24,800 lbs)
Weight - Dual Mode Model	13,350 kg (29,400 lbs)

Figura 13: Datasheet del model C600S de Capstone. Font: Capstone Turbines

S'observa al *datasheet* que l'equip cogenerador consumeix 7200 MJ/hora, i que l'equip accepta combustible en un rang de 30.7 a 47.5 MJ/m³; així doncs haurem de comparar aquestes característiques amb les propietats suposades al biogàs produït per veure si són compatibles. Per tal de realitzar les comparacions pertinents, traslladarem totes les dades que siguin d'interès al sistema internacional.

- **Consum turbina:** $7200 \frac{MJ}{hora} * \frac{1hora}{3600segons} * \frac{1000kJ}{1MJ} = 2000 \frac{kJ}{s} = 2000 kW$
- **Producció biogàs:** 1804 kW
- **Poder calorífic estimat biogàs:** $8600 \frac{kcal}{m^3} * \frac{4,184 kJ}{1kcal} * \frac{1MJ}{1000kJ} = 35,9824 \frac{MJ}{m^3}$
- **Interval acceptació biogàs:** (30,7 a 47,5 MJ/m³)
- **% capacitat utilitzada de la turbina:** 1804 kW/2000 kW= 90,2%

Es comprova doncs la compatibilitat de la turbina seleccionada amb la producció estíma de biogàs, tant pels requeriments de la turbina com pel fet de treballar en un rang de capacitat acceptable, tal i com s'estableix en el apartat referent a les emissions.

Adicionalment, és necessari saber la energia continguda en els fums de sortida de l'equip cogenerador per tal de realitzar una correcta estimació del dimensionament dels bescanviadors als digestors i de la turbina de vapor del cicle combinat. En el *datasheet* de l'equip cogenerador s'indica que la sortida dels fums es produeix a 280°C, i per a practicitat en els càlculs, es considerarà els fums de la combustió com aire i gas ideal. La temperatura dels fums després del bescanviador de calor es defineix en 105°C.

Així doncs, gràcies a taules termodinàmiques de l'aire es determina que a 280°C l'aire disposa de una entalpia de 554,74 (kJ/kg) i a 105°C 370,67 (kJ/kg); si sabem també mitjançant el *datasheet* que la sortida de fums són 4kg/s:

$$\text{Potència tèrmica recuperable} = (554,74 - 370,67) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 4 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 736,28 \text{ kW}$$

Observem que la potència tèrmica que es pot recuperar és força superior a les necessitats tèrmiques per a mantenir el digestor a una temperatura constant.

3.5.4. Bescanviadors de calor

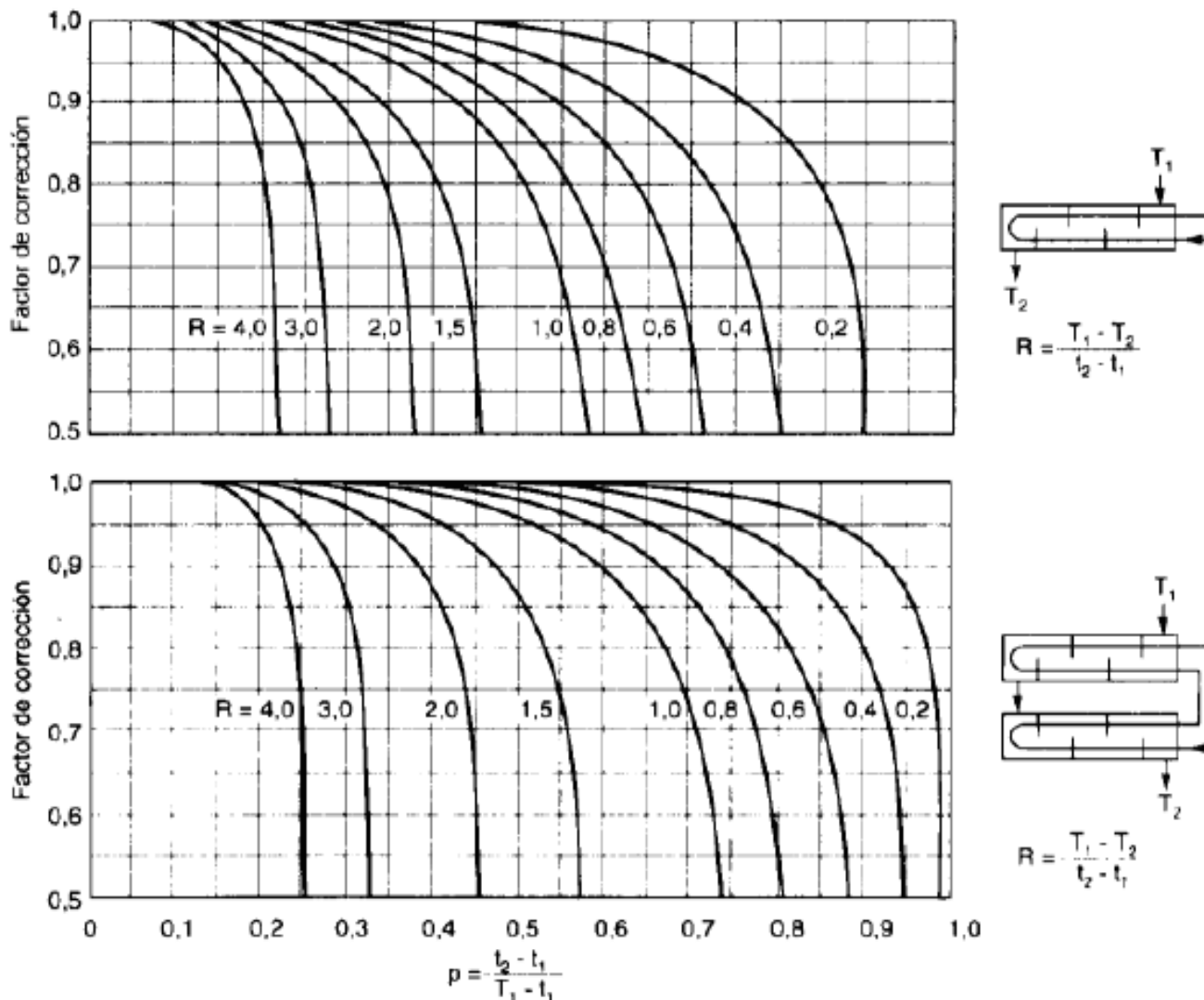
El bescanviador de calor anirà incorporat a les parets del digestor, tal i com s'ha definit anteriorment i tal com ofereix el model comercial trobat. Això suposa un avantatge per mantenir el digestor i els purins a la temperatura desitjada (35°C).

Tot i tenir les necessitats tèrmiques definides, no és suficient pel disseny del bescanviador. Sabent que la calor provindrà d'aprofitar l'energia tèrmica provinent dels fums de la combustió del biogàs a la turbina, hem de seleccionar el fluid caloportador, determinar l'àrea necessària de bescanvi i el tipus de bescanviador. Es dissenyarà de forma afegida també el bescanviador de calor per a la recuperació de calor als fums de sortida de l'equip cogenerador.

Els bescanviadors es dimensionen seguint la teoria dels apunts de la assignatura 'Generació Termofluidodinàmica', on esmenta el següent per a definir un bescanviador de calor genèric:

$$Q = U * A * f * \Delta_t \quad (\text{equació 3.8})$$

On U representa el coeficient global de transferència de calor, A l'àrea de bescanvi, i el factor f és el factor de correcció per adequar el càlcul de bescanvi de calor. En la següent imatge es mostren els gràfics per obtenir el factor f '*factor de correcció*' en funció dels paràmetres 'R' i 'p', que tal com es mostra depenen de la temperatura d'entrada i sortida.



Gràfic 6: Gràfics d'obtenció del factor f en funció del càlculs p i R . Font: 'Apunts assignatura Generació Termofluidodinàmica' UPC

El fluid caloportador escollit és l'aigua degut a les seves conegudes propietats com agent caloportador, i estíem aprofitant un salt tèrmic a l'aigua de 40 a 60 °C; així doncs, es calcula el cabal màssic necessari per aportar les necessitats tèrmiques al digester i les variables a trobar seran les àrees de bescanvi, doncs tant les taxes de calor que es vol intercanviar com la resta de paràmetres són coneguts. El seu coeficient de transferència de calor pren el valor de 0,3 kW/Km².

3.5.1. Bescanviador per la recuperació de calor

En la descripció de l'equip cogenerador hem vist que la potència tèrmica recuperable (736,28 kW) és força superior a les necessitats tèrmiques del digester en la pitjor situació (212,4306 kW), podent donar resposta en tot moment. Es decideix que la taxa de calor recuperada és de 250 kW, superior a les necessitats per compensar les possibles pèrdues de calor a la canalització del bescanviador. Així doncs:

$$250 = q_m * 4,184 \frac{kJ}{kgK} * (60 - 40) \rightarrow 250 = 83,68 * q_m \rightarrow q_m = 2,987 \frac{kg}{s}$$

Estant determinades les temperatures de entrada i sortida dels fums (280°C i 105°C) i les del circuit d'aigua (40 i 60 °C) es pot calcular els increments de temperatura necessaris i el factor f.

$$\Delta T_1 = 280 - 60 = 220$$

$$\Delta T_2 = 105 - 40 = 65$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{65 - 220}{\ln\left(\frac{65}{220}\right)} = \left(\frac{-155}{-1,22}\right) = 127,13 \quad (\text{equació 3.9})$$

Aplicant les fórmules del factor f i resolvent gràficament es troba un factor unitari. Aleshores:

$$250 = 0,3 * 127,13 * A$$

On A rep el valor de 6,55 m².

3.5.2. Bescanviador per digestor

Sabent la temperatura freda i calenta dels purins (35 i 5°C) i la de l'aigua (60 i 40°C), es pot calcular l'àrea necessària de bescanvi de la següent forma:

$$\Delta T_1 = 60 - 35 = 15$$

$$\Delta T_2 = 40 - 5 = 35$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{35 - 15}{\ln\left(\frac{35}{15}\right)} = \left(\frac{20}{0,847}\right) = 23,6 \quad (\text{equació 3.9})$$

Aplicant les fórmules del factor f i resolvent gràficament es troba un factor que rep el valor de 0,97. Aleshores:

$$250 = 0,3 * A * 23,6 * 0,97 \rightarrow A = 36,4 \text{ m}^2$$

L'àrea necessària és doncs inferior doncs la taxa anterior de calor ha sigut sobredimensionada per tal de compensar les possibles pèrdues degut a la temperatura ambient.

El bescanviador de calor proposat és aleshores un circuit d'aigua tancada que s'escalfa mitjançant els fums de la combustió del biogàs i després la cedeix al digestor. Tant l'àrea de recepció de calor a la

sortida dels fums com l'àrea necessària per cedir calor al digestor són elements constructius fixes, considerant aleshores que el salt tèrmic o de temperatura serà també fixe. Estant dissenyat el sistema per a la pitjor de les situacions, on degut a una baixa temperatura ambient la temperatura dels purins ha baixat fins 5°C, hem de dissenyar una solució per tal de poder regular la calor cedida al digestor, ja que quan les necessitats tèrmiques siguin inferiors a les dimensionades pot provocar sobreescalfaments i que no es mantingui al digestor la temperatura desitjada (35°C).

Així doncs, per solucionar això es proposa que la recuperació de calor als fums disposi de un element que reguli el cabal de fums que circula per el recuperador, regulant així la taxa de calor cedida de la següent forma:

$$Q_{cedidadigestor} \rightarrow Q_{cedidadigestor} = 209,2 * q_m$$

La idea esmentada es semblant a la torxa recuperador de calor que es proposa en la tesis '*Desarrollo de una Antorcha Multifuncional para Destrucción de Metano y Aprovechamiento de Energía Térmica*' [39], i el seu funcionament es pot veure a la següent imatge:

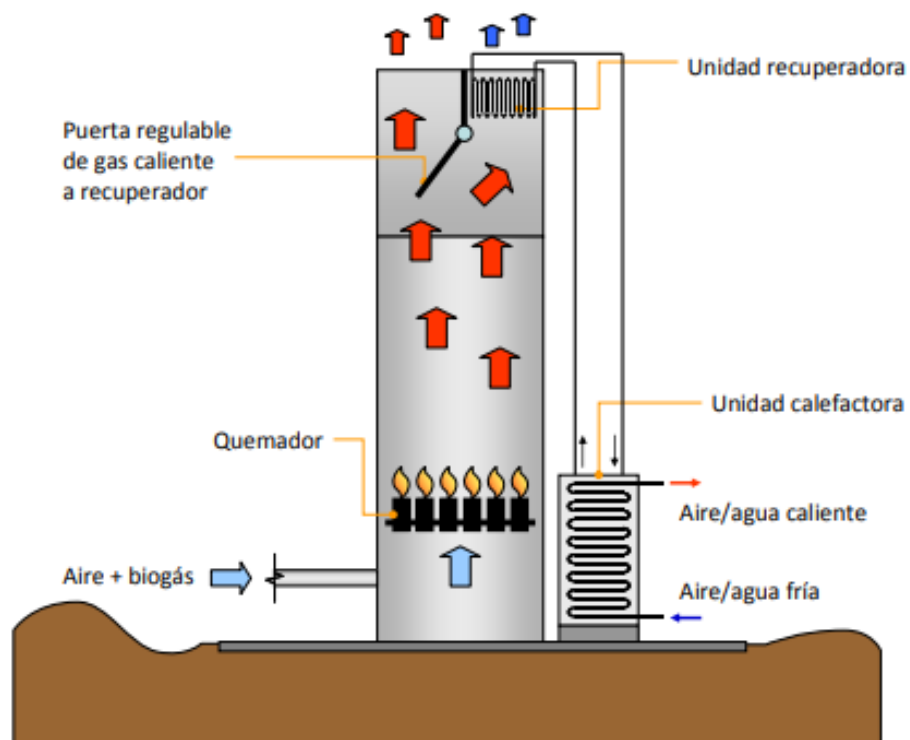


Figura 14: Funcionament de la regulació de calor recuperada. Font: '*Desarrollo de una Antorcha Multifuncional para Destrucción de Metano y Aprovechamiento de Energía Térmica*'

El principi de funcionament doncs seria el mateix, però aplicat a un recuperador de calor de un equip de cogeneració, no una torxa o xemeneia; per això, es proposa o bé el disseny de una canonada amb

la porta reguladora de pas o una solució semblant amb una vàlvula de papallona. La tecnologia de bescanviador seleccionada és la de carcassa i tubs, per la seva acceptació en aplicacions com les de aquest projecte. Fabricants com FUNKE ofereixen bescanviadors industrials de carcassa i tubs amb diferents potències tèrmiques acceptables i àrees de intercanvi, tal i com es mostra en la següent imatge[(44)]:

Características técnicas			
Rendimiento	1 KW	hasta	30 MW
Superficie de intercambio	0,11 m ²	hasta	2.000 m ²
Diámetro de carcasa	60 mm	hasta	2.000 mm
Temperatura de servicio	-20°C	hasta	500°C
Presión de servicio	max. 600 bar		

Intercambiadores de calor de carcassa y tubos FUNKE

- Intercambiadores de calor de seguridad / de tubos rectos / de tubos en U
- en todos los modelos habituales
- para todos los medios líquidos y gaseosos habituales

Equipos de serie

TDW, BCF, CCFA, SWF, CPS, WRA 200

Las geometrías predefinidas de los equipos nos permiten ofrecer:

- plazos de entrega breves
- una excelente relación precio / rendimiento
- la confianza de modelos probados

Soluciones específicas

CP, A 100, C 100 ... C 500

Para la construcción de equipos a medida seguimos escrupulosamente:

- las especificaciones de su empresa
- los estándares de las empresas de ingeniería
- las normas de diseño internacionales

Ventajas de los intercambiadores de calor de carcassa y tubos FUNKE (RWT):

- soluciones específicas por encargo y equipos estándar consolidados que cumplen todas las directivas y regulaciones internacionales
- baja tendencia al 'fouling' gracias a sus características de flujo óptimas
- alto grado de seguridad ante la

Componentes del intercambiador de calor de carcassa y tubos

- | | |
|-------------------------------|-----------------------|
| 1. Carcasa del intercambiador | 5. Placas tubulares |
| 2. Cámara de conexión | 6. Baffles |
| 3. Cámara de retorno | 7. Sellado del equipo |
| 4. Tubos internos | |

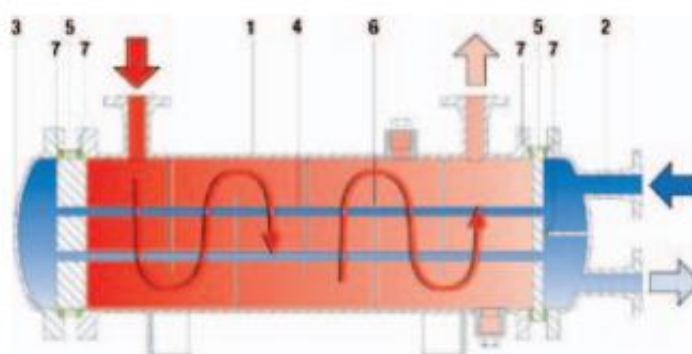


Figura 15: Datasheet del bescanviador proposat. Font: FUNKE

3.5.3. Pèrdues tèrmiques al digestor i espessor del aïllant.

Les pèrdues tèrmiques que s'estimen es donen principalment al digestor degut a que és el volum més gran de matèria calenta que està en contacte amb la temperatura ambient, a més que la calor cedida al recuperador de calor ja s'ha sobredimensionat per tal de compensar l'efecte de la temperatura ambient.

Per poder estimar les pèrdues al digestor primer s'ha de determinar l'espessor de la paret del digestor ja que el fabricant no dona informació sobre aquest paràmetre. Del treball final de grau 'Diseño de un

digestor para una planta de biogás agroindustrial[(42)] utilitzat anteriorment en el disseny del digestor, apliquem la següent equació per trobar l'espessor de la paret necessària en funció de l'alçada del dipòsit i del radi:

$$e = 0,05 * H + 0,01 * r \rightarrow e = 0,05 * 5,87 + 0,01 \left(\frac{34,15}{2} \right) \rightarrow e = 0,46425 \simeq 0,5m \text{ (equació 3.10)}$$

Així doncs al desconèixer l'espessor de la paret la estimarem en 0,5 m. Sabent que el radi donat pel fabricant és de 17,075 m, es considera el mateix com el radi exterior, sent 16,575 m el radi interior.

L'IDAE disposa de una guia tècnica per determinar el càlcul de les pèrdues tèrmiques i aïllament necessari, anomenada '*Diseño y cálculo del aislamiento térmico en conducciones, aparatos y equipos*'[(45)]. Seguint la metodologia de la mateixa es calcula el flux de calor perdut en el digestor amb o sense aïllament.

Sent 40W/mK la conductivitat tèrmica de l'acer (45):

$$R = \frac{e}{k} \rightarrow R = \frac{0,5}{40} \rightarrow R = \frac{0,0125m^2K}{W} \rightarrow U = \frac{80W}{m^2K} \text{ (equació 3.11)}$$

Es considera que el digestor pot transmetre la calor per tota la seva àrea lateral, i es calcula quina és la calor que cedeix el digestor a l'ambient en una situació molt desfavorable ($T_{amb} -5^{\circ}C$).

El total d'àrea lateral del digestor es calcula com:

$$A_{lateral} = 2 * \pi * r * h = 2 * \pi * 17,075 * 5,87 = 629,765m^2 \text{ (equació 3.12)}$$

I la calor cedida:

$$\Delta t = 35 - (-5) = 40$$

$$Q = U * \Delta t * A_{lateral} = 80 * 40 * 629,765 = 2.015.248,75 W \text{ (equació 3.13)}$$

És un càlcul estimatiu, doncs són suposicions i no es coneix la fiabilitat de les dades, però en tot cas, queda palès aleshores la necessitat de equipar el digestor amb aïllant per tal de disminuir el màxim possible les pèrdues de calor. Entre els aïllants disponibles al mercat s'escull la llana de roca degut a que treballa en un rang de temperatures òptim, sense perill de inflamabilitat i a la seva popularitat com aïllant per aquest tipus d'aplicacions.

Sent Isover[(46)] el comercialitzador seleccionat, ens proporciona que el valor de conductivitat és de 0,041 W/mK. Es selecciona el màxim valor possible de gruix d'aïllant per minimitzar les pèrdues de calor, sent 0,12 m el màxim gruix llistat. Així doncs:

$$R = \frac{0,12}{0,041} = 2,93$$

$$R = 2,93 + 0,0125 = 2,9425 \rightarrow U = 0,34 \left(\frac{W}{(m^2)K} \right) \quad (\text{equació 3.11})$$

$$Q = 40 * 0,34 * 629,765 = 8564,8 W \rightarrow 8,5 kW \quad (\text{equació 3.13})$$

Considerant l'excés de calor tèrmica produïda en tot moment a l'equip cogenerador, 8,5 kW de pèrdues en tot el digestor en situacions molt desfavorables és una situació que es pot acceptar. Sent ambdós càlculs estimatius, serveixen per analitzar les diferències en la calor perduda amb aïllament o sense, i les diferències entre un tanc de acer i un tanc d'acer que disposa de un aïllant com la llana de roca.

3.5.4. Sistemes de bombeig

Les bombes, compressors i expandors necessaris seran dimensionats segons els coneixements i fórmules estudiades a la assignatura 'Transport de fluids energètics', tenint en compte però que resulta un càlcul estimatiu doncs és possible que hi hagi variables que resultin desconegudes i haurém de assignar doncs valors arbitraris. Tal i com s'extreu dels apunts de la assignatura un dels fenòmens més importants a evitar és la cavitació, doncs desgasta fortament les canonades de la instal·lació. El càlcul de la potència requerida de bombeig es diferenciarà segons es consideri que el fluid és un líquid incompressible, o un gas. A més dels coneixements propis de la assignatura 'Transport de fluids energètics', es segueix les formules emprades en altres treballs finals de grau, com '*Aprovechamiento energético del biogàs*' de Paula Lamo per a la Universidad de Cantabria, esmentat anteriorment [(35)]. Es tracten de plantes molt diferents, tant per el dimensionament com per el coneixement de les propietats dels efluent a tractar, però ens servirà per fer una estimació; és difícil calcular certes longituds si no es disposa de les característiques constructives reals del projecte, per això al ser una proposta de projecte es realitza una estimació.

Es calcularà doncs la càrrega a suportar per la bomba, en metres de columna d'aigua, i conegut aquest factor podrem trobar la potència necessària de la bomba.

La càrrega a suportar per una bomba es pot calcular com la suma de la diferència de pressions, la alçada a superar i la altura de pressió suficient per donar velocitat al fluid i superar la fricció, mitjançant la següent fórmula:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{g * \rho} + H_g + h_s \quad (\text{equació 3.14})$$

Mentres que l'alçada a superar es la diferencia de desnivell (z_2-z_1), la altura de pressió suficient per donar velocitat al fluid i superar la fricció es pot calcular mitjançant la equació de Darcy:

$$h_s = f * \left(\frac{L}{d}\right) * \left(\frac{v^2}{2g}\right) \quad (\text{equació 3.15})$$

Un cop sabem la càrrega en metres de columna d'aigua, la potència de la bomba (en W) seleccionada es pot calcular mitjançant la següent fórmula:

$$P = \rho * g * Q * H \quad (\text{equació 3.16})$$

Un cop sapiguem aleshores la potència necessària en W, es poden buscar models comercials per a cada lloc. El rendiment de les bombes s'estima en 0,7 o 70% de rendiment.

És necessari també definir les canalitzacions objecte d'estudi i la seva longitud per estimar el bombeig de forma eficient. Les canalitzacions objecte d'estudi seran doncs:

- **Tolva receptora a digestor/gasòmetre.** (Trajecte purins)
- **Gasòmetre a equip cogeneració.** (Trajecte Biogàs)
- **Bescanviador de calor.** (Trajecte circuit aigua)

Tolva receptora a Digestor

La canalització que recorre el tram del tanc d'alimentació cap al digestor s'estima en 2 metres de longitud entre la sortida del tanc i la entrada al digestor. Tot i que el tanc d'alimentació té capacitat per emmagatzemar els purins per a dos dies, s'estima que la entrada de purins des de al tanc al digestor es realitzarà un únic cop al dia, per la quantitat corresponent als purins a tractar en un dia i amb una duració de dues hores, aproximadament. Observant la tolva receptora i el digestor, es considera que no hi ha diferències d'alçada en la sortida de la tolva i la zona de recepció dels purins, ni necessitat de augmentar la pressió per introduir els purins en el digestor, però si serà necessària una vàlvula antiretorn per tal de regular la circulació de purins només cap al digestor.

Així doncs, sabent que en un dia es tracten 205,354 m³ de purins i que es vol realitzar la descarrega en dues hores:

$$\frac{205,354}{2} = 102,67 \frac{m^3}{h} = 0,02852 \frac{m^3}{s}$$

A l'inici d'aquest capítol s'han establert les velocitats mínimes per a diferents tipus de fluid, i en el cas dels purins, s'establirà com a 2,4 m/s. Així doncs:

$$\frac{0,02852 \left(\frac{m^3}{s}\right)}{2,4 \left(\frac{m}{s}\right)} = 0,0118833 m^2 = 11883,3 mm^2$$

$$11883,3 = \pi * r^2$$

$$r = 61,5 mm \rightarrow 123 mm \text{ diàmetre}$$

La canonada en aquest tram es decideix de 5" o 128,3 mm de diàmetre, doncs és el diàmetre normalitzat immediatament superior. Així doncs, es recalcula la velocitat per aquest nou valor de diàmetre:

$$v = \frac{q}{\left(\pi * \frac{d^2}{4}\right)} = \frac{0,02852}{\pi * \frac{(0,1283)^2}{4}} = 2,206 \frac{m}{s}$$

Sabent aleshores el valor de diàmetre i velocitat, es pot estimar la viscositat dinàmica segons Chen i Hashimoto de la següent forma:

$$\mu = K * \left(\frac{8 * v}{d}\right)^{n-1} * \left(\frac{3 * n + 1}{4 * n}\right)^n$$

Sent v la velocitat dels purins i d el diàmetre de la canonada, els paràmetres K i n valen 0,0122 i 0,81 com s'extreu del treball esmentat. Així doncs, substituint valors trobem que:

$$\mu = 0,0122 * \left(\frac{8 * 2,206}{0,1283}\right)^{0,81-1} * \left(\frac{3 * 0,81 + 1}{4 * 0,81}\right)^{0,81} = 0,005013 \quad (\text{equació 3.17})$$

És necessari saber també el valor de densitat de la composició de purins, que depèn del percentatge que representa cada purí en la composició i del valor de densitat de cada purí. El valor de densitat de cada tipus de purí utilitzat es troba a la guia de l'ICAEN, [13] i aplicant el percentatge que representa cadascú a la composició, trobem que el valor de densitat s'estima en 767 kg/m³. Això ens permetrà obtenir el Reynolds, i posteriorment la pèrdua de càrrega i la potència necessària per a la bomba.

El valor de Reynolds es pot trobar aleshores com:

$$Re = \frac{v * d * \rho}{\mu} = \frac{2,206 * 0,1283 * 767}{0,005013} = 43304,18 \quad (\text{equació 3.18})$$

Aquest valor de Reynolds ens permet trobar el coeficient de fricció mitjançant la equació de Blasius, que és vàlida per a Reynolds inferiors a 100.000. La equació de Blasius determina el coeficient de fricció de la següent forma:

$$f = 0,3164 \cdot (Re)^{-0,25} \quad (\text{equació 3.19})$$

$$f = 0,021933$$

podem substituir i trobar ja aleshores les pèrdues de càrrega:

$$h_s = 0,021933 * \left(\frac{2}{0,1283}\right) * \left(\frac{2,206^2}{2 * 9,81}\right) = 0,24065 \text{ mcl}$$

Al no tenir diferències de pressió ni de desnivell, la potència necessària en W aleshores necessària es calcula com:

$$P_b = \rho * g * Q * h_s$$
$$P_b = 767 * 9,81 * 0,02852 * 0,24065 = 51,64 \text{ W}$$

Tenint en compte un rendiment al voltant del 70%:

$$P = \frac{51,64}{0,7} = 73,77$$

Veient la poca potència de bomba necessària, i el marge de disseny que permet aquesta part de la instal·lació, es decideix que constructivament pot ser dissenyada per tal de compensar aquesta potència necessària amb un desnivell de alçada entre el punt de sortida de la tolva i el punt d'entrada al digestor.

Gasòmetre a equip cogeneració

S'estima el tram del gasòmetre fins a l'equip de cogeneració en una longitud de tubàries de 100 metres i mínim 5 colzes en 90°. Per calcular la longitud equivalent que suposa hem de veure primer quines serien les dimensions d'aquests colzes, i això a la vegada es calcula mitjançant la velocitat a la canalització. Observant les velocitats recomanades en funció del fluid es veu que pels gasos l'interval és de 9 a 30 m/s, així doncs es calcula el diàmetre necessari de canalització per aconseguir aquesta velocitat i s'escollirà el següent normalitzat inferior, per mantenir la velocitat dins del rang. Sabent que es disposa de 180,5 m³/h de biogàs:

$$180,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = 0,0501388 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$
$$\frac{0,0501388 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{9 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)} = 0,005570987 \text{ m}^2 = 5570\text{mm}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{5570}{\pi}} = 42,11 \text{ mm} \rightarrow 84,22 \text{ mm diàmetre}$$

Sent la normalitzada 77,9 mm de diàmetre o 3". Amb aquest nou diàmetre la velocitat resulta:

$$S = \pi * \left(\frac{77,9}{2000}\right)^2 = 0,004766m^2$$

$$v = \frac{0,0501388m^3}{0,004766m^2} = 10,51 \frac{m}{s}$$

Es pot calcular ara aleshores la longitud equivalent com:

$$L_{eq} = 100 + 5 * 1,5 = 107,5$$

Sabent que la densitat del biogàs és 1,2 kg/m³ i la viscositat a 15°C de 1,074 ×10⁻⁵ kg/(m·s), calcularem la potència necessària de la bomba seguint el mètode definit.

$$Re = \frac{v * d * \rho}{\mu} = \frac{10,51 * 0,0779 * 1,2}{0,00001074} = 91563,75$$

La equació de Blasius determinarà la fricció:

$$f = 0,3164 \cdot (Re)^{-0,25} = 0,018188$$

I les pèrdues de càrrega lineal aleshores:

$$h_s = f * \left(\frac{L}{d}\right) * \left(\frac{v^2}{2g}\right) = 0,018188 * \left(\frac{107,5}{0,0779}\right) * \left(\frac{(10,51)^2}{2 * 9,81}\right) = 141,313 \text{ mcl}$$

Sabent que el gasòmetre és la cupula del digestor, sabent que la alçada del digestor comercial escollit és de 5,87 m, si s'estima que la entrada del biogàs a l'equip cogenerador estarà a mig metre d'alçada:

$$h_g = z_2 - z_1 = 0,5 - 5,87 = -5,37$$

També és necessària calcular la pèrdua de càrrega deguda a l'increment de la pressió, si sabem que l'equip cogenerador té unes necessitats de rebre el biogàs a 517 kPa i es produeix a pressió atmosfèrica 101,325 kPa).

$$\frac{P_2 - P_1}{g * \rho} = \frac{517000 - 101325}{9,81 * 1,2} = \frac{415675}{11,772} = 35310,482$$

$$H = \frac{P_2 - P_1}{g * \rho} + H_g + h_s \rightarrow 35310,482 + 141,313 - 5,37 \rightarrow 35446,4255 \text{ mcl}$$

$$P_b = \rho * g * Q * h_s \rightarrow P_b = 1,2 * 9,8 * 0,0501388 * 35446,425 \rightarrow P_b = 20900,356 \text{ W}$$

Suposant un rendiment del 70%:

$$P_b = \frac{20900,356}{0,7} = 29857,65 \text{ W}$$

Bescanviador de calor

El bescanviador de calor es dissenya com un circuit d'aigua calenta tancat que s'escalfa mitjançant la cogeneració i es refreda cedint calor al digestor. Sabent que el gasòmetre és ubicat a la cúpula del digestor, es considera que la longitud efectiva del circuit d'aigua és el doble que la longitud efectiva del gasòmetre a equip cogeneració, doncs fa el mateix recorregut però amb anada i tornada.

No s'inclouen doncs les tubèries pròpies dels bescanviadors de calor o necessàries per cobrir l'àrea d'intercanvi, només la canalització necessària per connectar un bescanviador amb l'altre. Així doncs, es pot dividir el circuit del bescanviador en dos trams: Digestor a CHP i CHP a Digestor.

Es recupera de l'apartat *Bescanviadors de calor* que el cabal màssic d'aigua que circularà és de 2,987 kg/s, i com a tret comú s'estableix però que l'aigua no pot circular a una velocitat superior a 2 m/s.

Digestor a CHP

En aquest tram l'aigua presenta una temperatura de 40 °C, i així doncs una densitat de 992,3 kg/m³. Sabent el cabal màssic i la densitat podem extreure el cabal volumètric, i amb aquest i la velocitat màxima permesa es trobarà l'àrea de canonada límit. Sabent aquesta es pot trobar quina és l'àrea normalitzada òptima:

$$2,987 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * \frac{\text{m}^3}{992,3 \text{ kg}} = \frac{(3,010178 * 10^{-3}) \text{ m}^3}{\text{s}} \rightarrow \frac{(3,010178 * 10^{-3}) \text{ m}^3}{\frac{2 \text{ m}}{\text{s}}}$$

$$= 1,505089 * 10^{-3} \text{ m}^2 = 15,05 \text{ cm}^2$$

Sent 21,6 cm² l'àrea normalitzada més propera a la calculada o el que és el mateix, 52,5 mm de diàmetre. Amb aquesta nova àrea l'aigua circula a una velocitat de 1,39 m/s.

Desenvolupant la resta de paràmetres:

$$Re = \frac{1,39 * \left(\frac{52,5}{1000}\right) 992,3}{0,000653} = 110892,994$$

$$f = 0,3164(110892,944)^{-0,25} = 0,017338$$

$$hs = 0,017338 * \left(\frac{107,5}{\frac{52,5}{1000}}\right) * \left(\frac{1,39^2}{2 * 9,81}\right) = 3,496$$

$$h_g = z_2 - z_1 = 0,5 - 5,87 = -5,37$$

No havent diferència de pressió en aquest tram, el treball que s'hauria de realitzar per impulsar el cabal d'aigua al llarg de la canalització ja ve donat per la diferència d'alçada.

CHP a Digestor

En aquest tram l'aigua ha retornat a l'equip cogenerador per escalfar-se i cedir calor al digestor. Així doncs presenta una temperatura de 60°C i una densitat de 983 kg/m³.

$$\begin{aligned} 2,987 \frac{kg}{s} * \frac{m^3}{983kg} &= \frac{(3,038657 * 10^{-3})m^3}{s} \rightarrow \frac{(3,038657 * 10^{-3})m^3}{\frac{2m}{s}} \\ &= 1,5193285 * 10^{-3}m^2 = 15,19 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Sent 21,6 cm² l'àrea normalitzada més propera a la calculada o el que és el mateix, 52,5 mm de diàmetre. Amb aquesta nova àrea l'aigua circula a una velocitat de 1,4 m/s. Veiem doncs que el canvi de densitat no afecta el suficient com per seleccionar un diàmetre diferent en aquest tram.

Desenvolupant la resta de paràmetres:

$$Re = \frac{1,4 * \left(\frac{52,5}{1000}\right) 983}{0,000467} = 154717$$

$$f = 0,3164(154717)^{-0,25} = 0,015953$$

$$hs = 0,015953 * \left(\frac{107,5}{\frac{52,5}{1000}}\right) * \left(\frac{1,4^2}{2 * 9,81}\right) = 3,26$$

$$h_g = z_2 - z_1 = 0,5 - 5,87 = 5,37$$

Així doncs, la potència que hauria de desenvolupar la bomba és:

$$P_b = 983 * 9,8 * 3,010178 * 10^{-3} * (3,26 + 5,37) \rightarrow P_b = 250,25 W$$

Amb un rendiment del 70%

$$P_b = \frac{250,25}{0,7} = 357,5 W$$

3.5.5. Gasòmetre

El gasòmetre dintre de una instal·lació de digestió anaeròbia és un dipòsit de seguretat per tal de evitar problemes en el desfasament entre producció i consum de biogàs. El gasòmetre aleshores pot ser una unitat independent, normalment un tanc pressuritzat; o com en aquest projecte, es pot aprofitar una altre instal·lació, en aquest cas la coberta del digestor.

Recordem com s'ha vist en la descripció del digestor que la coberta del mateix esta formada per un material expansible per donar-hi la utilitat de gasòmetre.

Operativament en aquest projecte, tot el biogàs produït es consumit al equip cogenerador, i encara es podria suportar una producció superior a la estàndard doncs l'equip no treballa a plena càrrega. A més, degut al factor de seguretat aplicat al dimensionament del digestor i la adaptació després als models comercials, sobra el volum suficient al digestor com per que la coberta sigui l'únic gasòmetre de la planta.

Sabent que el digestor disposa de un volum de 5377 m³, sent el volum necessari per els purins 5133,85 m³ (tenint en compte el 20% de seguretat), es disposa de mínim 243,15 m³ per a ser utilitzats com a gasòmetre. Anteriorment hem estimat la producció de biogàs en 1581229,03 m³ anuals, així doncs:

$$1581229,03 \frac{m^3}{any} * \frac{1 any}{365 dies * 24 hores} = 180,5 \frac{m^3}{hora}$$

$$capacitat d'emmagatzematge (hores) = 243,15 \frac{m^3}{180,5 \left(\frac{m^3}{hora} \right)} = 1,347 hores$$

Si fos necessari més temps d'emmagatzematge i/o reacció, es pot afegir un altre gasòmetre i/o comprimir el biogàs produït.

3.5.6. Torxa de seguretat

La torxa de seguretat és un element que, degut a la estratègia de consum i emmagatzematge en aquest projecte, no s'utilitzarà per a cremar petits excedents de biogàs sinó que només serà utilitzada en una situació on el consum es vegi inutilitzat, com pot ser que l'equip cogenerador s'espalli.

En aquesta situació, sabent que es disposa de un gasòmetre de 243, 15 m³ i un producció de 180,5 m³/h, suposant un consum nul de biogàs degut a una averia de l'equip cogenerador, es trigaria 1,34 h en emplenar el gasòmetre, (sense tenir en compte el factor de seguretat del 20%). Així doncs, amb una torxa de seguretat que sigui capaç de cremar el que es produiria en 1 h hi ha suficient per evitar situacions perilloses.

D'altra banda, també es pot distingir entre torxes obertes o tancades. Les torxes obertes són utilitzades típicament en aplicacions d'excedents de biogàs degut a la seva simplicitat, però d'altra banda no permeten controlar tant els paràmetres de la combustió i hi ha una possibilitat més alta de emetre biogàs no cremat a l'atmosfera.

Les torxes tancades, permeten un major control sobre els paràmetres de la combustió i dificulten molt més la possibilitat d'emetre biogàs no cremat. Són utilitzades sobretot en aplicacions on es requereix un major control respecte les emissions produïdes i sobre la temperatura de la sortida de fums. En el següent document de la agència ambiental britànica, *Environment Agency (UK), Guidance on Landfill Gas Flaring* [(47)], S'estableixen les condicions necessàries per a una destrucció efectiva de metà:

- Temperatura de combustió mínima a la torxa de 1000°C
- Temps de residència del gas mínim de 0,3 s
- Mantenir la flama dins l'interior de la cambra de combustió.
- Excés de aire del 100%, $\epsilon = 1$

La torxa tancada hauria de complir doncs aquestes condicions per ser efectiva. Les torxes tancades de Zorg Biogas GmbH [(48)] compleixen amb tots els requisits necessaris per a la combustió del biogas en cremadors i torxes, d'acord a la normativa TA-air 5.4.8.1a2 i UNE EN 746-2; així doncs es selecciona la torxa FAII 200 que treballa en un interval de 150 a 250 m³/h. La torxa proposada presenta el següent aspecte:



Figura 16: Aspecte de la torxa FAIL 200. Font: ZORG Biogas

3.6. Emissions

Depenent de la hipòtesis calculada, tant la producció com el percentatge de metà varia, no així el poder calorífic inferior (PCI) que serà l'utilitzat a efectes de càlcul de calor alliberada. Tal i com es recull de la guia de l'ICAEN, el PCI del metà es defineix en 8600 kcal per metre cúbic. La composició del biogàs produït es suposa en un 65% de biometà i 35% CO₂, la mateixa que es considera en la guia de l'ICAEN per establir el 8600 kcal per metre cúbic, per a un biogàs d'origen similar al de aquest projecte. Per estudiar les reaccions que es donen en la combustió del biogàs haurem de diferenciar aleshores entre aquest dos components.

El CO₂ no aporta poder calorífic a la composició del biogàs, i això és degut a que en la combustió del biogàs el CO₂ no combustiona. Per calcular aleshores les emissions de CO₂, calcularem el CO₂ produït en la combustió del biometà i afegirem el 35% ja existent. L'equip cogenerador escollit consumeix tota la nostra producció de biogàs, 180,5 m³/h. Aleshores:

$$\frac{180 \text{ m}^3 \text{ biogas}}{h} * 65\% \text{ biometà} = 117 \frac{\text{m}^3 \text{ biometà}}{h}$$

Considerant la densitat del metà com a 0,657 kg/m³, i la massa molar com 16 g/mol:

$$117 \frac{m^3 \text{biometà}}{h} * \frac{0,657 \text{ kg biometà}}{m^3} * \frac{1000g}{1kg} * 1 \frac{mol}{16g} = 4804,31 \frac{mols}{h} CH_4$$

Sabent que la densitat del CO₂ és 1,976 kg/m³, i la massa molar 44,01 g/mol; podem calcular el CO₂ generat en la combustió:

$$4804,31 \frac{mols}{h} CH_4 * 1 \frac{mol CO_2}{1 mol CH_4} * \frac{44,01g}{mol CO_2} * \frac{1kg}{1000g} * \frac{m^3 CO_2}{1,976} = 106,98 \frac{m^3 CO_2}{h}$$

Com s'ha considerat que el biogàs és només biometà i diòxid de carboni, podem calcular el CO₂ ja existent de la següent forma:

$$\frac{m^3 CO_2}{h} \text{ existent} = \frac{m^3}{h} \text{ biogàs} - \frac{m^3}{h} \text{ biometà} = 180 - 117 = 63 \frac{m^3}{h}$$

Aleshores, per cada 180,5 $\frac{m^3}{h}$ de biogàs consumit a l'equip cogenerador s'allibera la següent quantitat de CO₂:

$$CO_2 \text{ alliberat} \frac{m^3}{h} = \frac{m^3 CO_2}{h} \text{ existent} + \frac{m^3 CO_2}{h} \text{ combustió} = 63 + 106,98 = 169,98 \frac{m^3}{h}$$

Desenvolupant el projecte ha quedat definit que la turbina de biogàs no treballa al 100% de càrrega sinó que opera al 90,2 %, conseqüentment s'ha de redefinir les emissions de contaminants.

Analitzant les gràfiques vistes en l'apartat de combustió, podem estimar gràficament que treballar al 90% de càrrega eleva les emissions de NO_x a 10 ppm i les de CO a 1 ppm. Per quantificar les emissions totals hem de estudiar primer el concepte ppm (part per milió) aplicat a volum. Un ppm quantificat en volum és mg de solut/l de dissolució, així doncs:

$$\frac{180 m^3 \text{ biogas}}{h} * \frac{1000l}{m^3} * 10 \frac{mg}{l} = 1,8 \frac{kg}{h} NO_x$$

$$\frac{180 m^3 \text{ biogas}}{h} * \frac{1000l}{m^3} * 1 \frac{mg}{l} = 0,18 \frac{kg}{h} CO$$

Les emissions permeses en activitats destinades a producció d'energia es legislen en funció de la potència tèrmica de la central, com a gran o mitjana potència. Sent aleshores les instal·lacions tèrmiques de gran potència aquelles superiors a 50 MW i les mitjanes aquelles compreses entre 1 i 50

MW. Aquest projecte s'estima amb una potència inferior a 1 MW tèrmic, però per poder comparar les emissions estimades amb valors estipulats s'utilitza la legislació per instal·lacions mitjanes.

La limitació sobre les emissions en instal·lacions de combustió mitjanes esta regulada mitjançant el *Real Decreto 1042/2017* [(49)] i controla les emissions de SO₂, NO_x i CO. En la següent taula podem observar les emissions permeses per a instal·lacions noves:

Taula 18: Valors límit d'emissions per diferents tecnologies. Font: Real Decreto 1042/2017

Valores límite de emisión (mg/Nm³) para los motores y las turbinas de gas nuevos

Contaminante	Tipo de instalación de combustión mediana	Gasóleo	Combustibles líquidos distintos del gasóleo	Gas natural	Combustibles gaseosos distintos del gas natural
SO ₂	Motores y turbinas de gas	–	120 ⁽¹⁾	–	15 ⁽²⁾
NO _x	Motores ⁽³⁾ ⁽⁴⁾	190 ⁽⁵⁾	190 ⁽⁵⁾ ⁽⁶⁾	95 ⁽⁷⁾	190
	Turbinas de gas ⁽⁸⁾	75	75 ⁽⁹⁾	50	75
Partículas	Motores y turbinas de gas	–	10 ⁽¹⁰⁾ ⁽¹¹⁾	–	–

⁽¹⁾ Hasta el 1 de enero de 2025, 590 mg/Nm³ en el caso de motores diésel que formen parte de una pequeña red aislada o de una microrred aislada.

⁽²⁾ 40 mg/Nm³ en el caso de biogás.

Per poder comparar aleshores les emissions estimades anteriorment amb les recollides a la legislació s'ha d'adequar les unitats. 40 mg/Nm³ de SO₂ i 75 mg/Nm³ de NO_x representen 15,29 i 39,89 ppm respectivament.

Tot i que l'estudi no ens ha permès estimar les emissions de SO₂, si que es pot comparar les 10 ppm previstes de NO_x amb el valor màxim permès legislativament, 39,89 ppm. Veiem doncs que el projecte proposat no sobrepassaria les emissions màximes permeses.

3.7. Connexió elèctrica a la xarxa i energia injectada.

Per tal de realitzar la connexió elèctrica a la xarxa, s'ha de contactar la empresa distribuïdora pertinent. Les empreses distribuïdores d'energia elèctrica al sistema elèctric peninsular es reparteixen de forma territorial, sent la distribuïdora pertinent e-distribución o EDE (ENDESA). A la pàgina web de e-distribución es poden trobar documents tècnics de condicions per accés a la xarxa, sent aplicable al nostre cas el document '*NRZ104_EP Instalaciones Privadas Generadores AT y MT*' [(50)]. Analitzant aquest document es destaca que no es pot definir encara la instal·lació de connexió a xarxa, doncs depèn si la connexió es realitza en AT o MT, i això a la seva vegada depèn de l'estudi i l'acord amb la distribuïdora. A efectes de poder realitzar un pre-disseny per al nostre projecte,

s'estima que es realitza la connexió en AT, a la xarxa de 11 o 66 kV. Les condicions bàsiques que es troben al document són les següents:

- *'La conexión de la instalación generadora no afectará al funcionamiento normal de la red de EDE ni a la calidad del suministro eléctrico de los clientes y/o generadores conectados a ella. Por ello, el generador deberá informar a EDE de las características principales de su instalación y conexión, tales como tipo de grupo de conexión de transformadores, tratamiento del neutro y conexión de pantallas.'*
- *'En caso de problemas o incidencias relacionadas con la instalación, EDE podrá solicitar los correspondientes informes de revisión al generador, o una inspección extraordinaria de una OCA, para asegurar el correcto funcionamiento de su instalación. En caso contrario, EDE se reserva el derecho de notificar tal situación al Organismo público correspondiente para solicitar la desconexión temporal de dicho generador'.*
- *'El titular de la instalación generadora deberá realizar la revisión y el mantenimiento de su instalación de acuerdo a la reglamentación vigente. EDE podrá verificar cuando lo considere oportuno, la regulación y el estado funcional de los sistemas de protección, control, medida y conexión de la instalación conectada a su red'.*
- *'La instalación generadora no aportará corriente de neutro ante faltas a tierra en la red, como criterio general. Para ello, el devanado de alta de los transformadores de acoplamiento de la instalación generadora a la red será en triángulo o estrella sin conexión del neutro a tierra, pero con aislamiento pleno y accesible. En el caso particular de conexión a subestación en entrada salida a línea de AT existente, siempre se aplicará la conexión en estrella y será EDE quien decida la puesta a tierra de este neutro'.*

Respecte la configuració o esquema elèctric de la instal·lació de connexió, observem que la instal·lació de connexió a la xarxa de distribució pot prendre configuracions molt diferents, tal i com es veu en els següents esquemes. Aquesta configuració varia doncs en funció de l'acord amb la distribuïdora, el context de la instal·lació i l'emplaçament.

ESQUEMA 2. E/S EN LÍNEA AT CON SECCIONAMIENTO

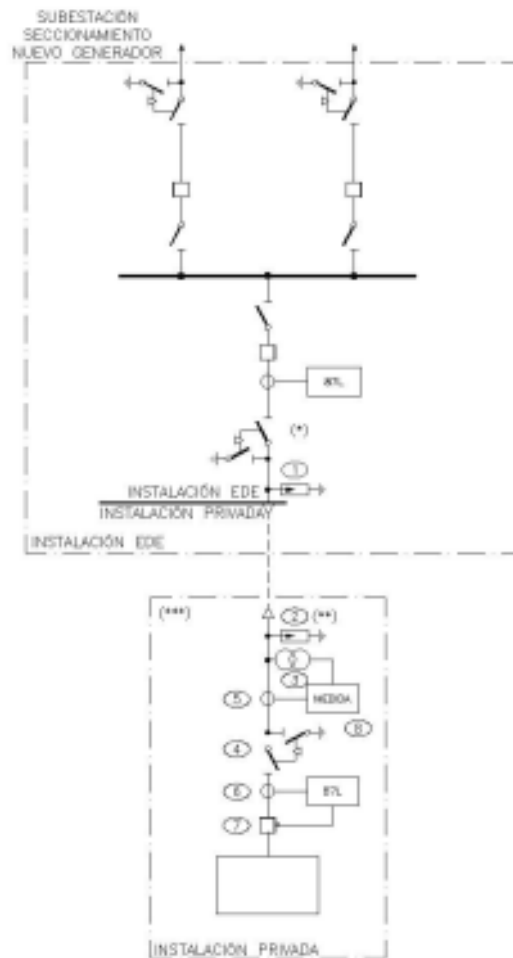


Figura 17: Esquema elèctric connexió AT. Font: (50)

ESQUEMA 12. ESQUEMA EJEMPLO DESARROLLADO: CT DE INTERIOR CON DOBLE ACOMETIDA Y 2 TRANSFORMADORES CON AUTOCONSUMO TIPO 1 Y TIPO 2B. MEDIDA GENERACIÓN EN AT.

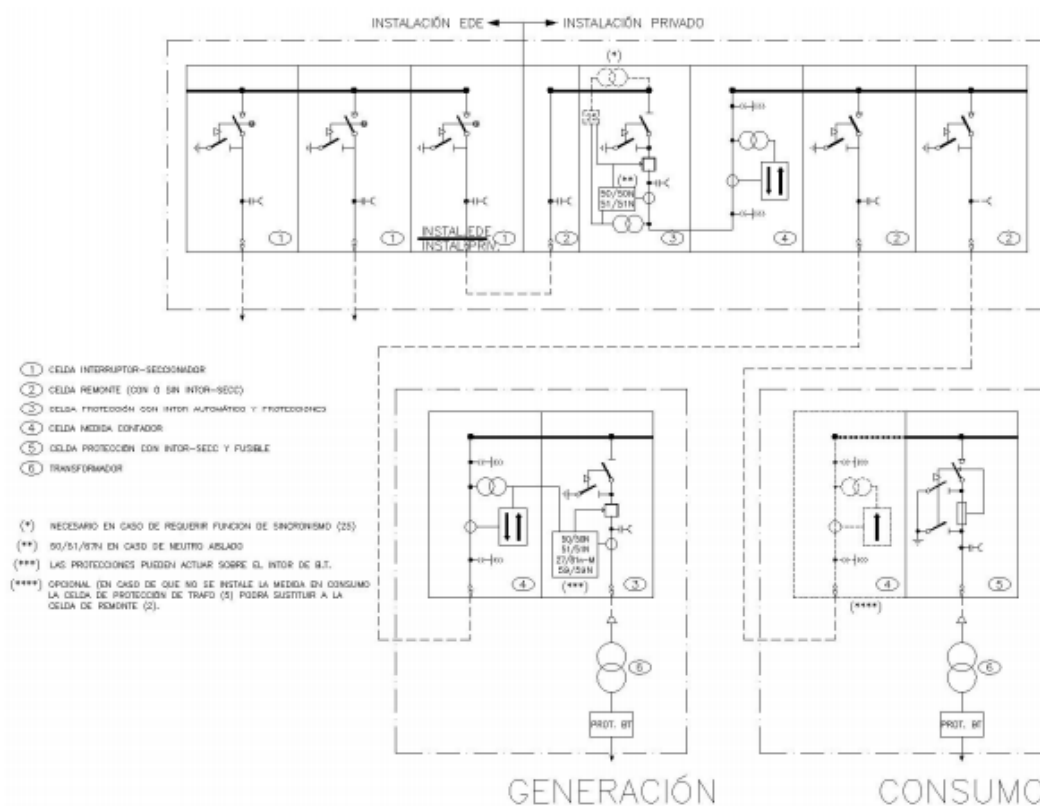


Figura 18: Esquema elèctric connexió AT. Font: (50)

Tot i les diferències entre instal·lacions, hi ha certs elements comuns i dels que la nostra instal·lació segur que ha de disposar; destaquem entre ells el transformador de tensió, el comptador per mesurar la energia entregada, o les proteccions. Com s'observa en les imatges anteriors, i com s'afirma al document tècnic, la instal·lació de connexió fins el punt de distribució és responsabilitat de l'usuari que es vol connectar a la xarxa, no de la empresa distribuïdora. El punt entre els dos s'anomena punt frontera. Aleshores, és responsabilitat d'aquest projecte realitzar la instal·lació de connexió. Al ser un projecte teòric i no un cas real, no es contacta la distribuïdora per analitzar que es necessitaria; per això, no es pot dimensionar els fusibles ni proteccions necessaris doncs falten dades per buscar models comercials.

No es troba informació facilitada pel fabricant sobre el rendiment de la turbina en funció del percentatge de càrrega utilitzat. Així doncs, de cara a la producció de electricitat considerarem els següent:

- Al utilitzar la turbina en un 90,2% de càrrega, es considera que s'aprofita també el 90,2 % de la potència de la mateixa, així doncs:

$$P_{aprofitable} = 600 \text{ kW} * 0,902 = 541,2 \text{ kW}$$

S'ha de tenir en compte el consum d'electricitat necessari per el funcionament del equipament de la planta, sent el consum més gran el del sistema de bombeig, calculat anteriorment i estimat en 30 kW. Afegint altres consums com bé son els agitadors del tanc de digestió i la resta de la maquinària, s'estima que ascendeix a 40 kW. Al no disposar de informació sobre les tarifes existents per aquests consums industrials, aquest consum repercutirà en el projecte com a energia no disponible per a injectar a xarxa (potència no disponible per cada unitat de temps); d'aquesta forma:

$$P_{injectable} = 541,2 \text{ kW} - 40 \text{ kW} = 501,2 \text{ kW}$$

Aquesta seria doncs, la potència disponible per injectar a xarxa, però s'ha de tenir en compte altres factor com bé són les pèrdues en el punt de interconnexió. Sabem que es compta amb X equipament, per això, degut a les pèrdues per histèresis en el transformador, corrents parasitàries, pèrdues de energia en forma de calor, i demès, s'estima el rendiment de la injecció a xarxa en un 90%. Sent aleshores la potència injectada a xarxa a cada moment la següent:

$$P_{injectada} = 501,2 * 0,9 = 451,08 \text{ kW}$$

Degut a les consideracions inicials de funcionament continu de la planta, i de producció continua de biogàs, es considerarà també continu el funcionament de la turbina. Per els càlculs econòmics, es convenient trobar la energia produïda en un període anual:

$$E_{produïda} = 451,08 \text{ kW} * 365 * 24 = 3951460,8 \text{ kWh}$$

4. Avaluació econòmica

Per avaluar econòmicament un projecte, una eina molt important són els indicadors de rentabilitat, que ens donen una visió global sobre la viabilitat de un projecte o proposta de projecte. És necessari diferenciar però, entre els indicadors de la rentabilitat de la inversió i els indicadors de la rentabilitat de la activitat. Mentre que la rentabilitat de la activitat mesura la capacitat de la activitat per generar beneficis, la rentabilitat de la inversió mesura la relació entre el benefici obtingut degut a una activitat i el cost de dur a terme aquesta activitat.

Per a realitzar la avaluació econòmica del projecte es proposa el càlcul de diferents indicadors de rentabilitat, ja sigui d'inversió o de la activitat, doncs en conjunt ens donaran una imatge més ampla de la activitat que es vol dur a terme. Els indicadors escollits per analitzar la viabilitat de la proposat de projecte són els següents: EBITDA, VAN, TIR, ROI.

L'EBITDA és l'acrònim de *Earnings Before Taxes, Interests, Depreciation, and Amortization*. És a dir, els beneficis 'bruts' abans de pagar impostos, interessos i altres factors econòmics com la depreciació i les amortitzacions; es defineix mitjançant la següent fórmula:

$$EBITDA = \sum_{i=1}^n EBITDA_i \text{ (equació 4.1)}$$

(sent 'i' el període i 'n' el *end of life* esperat del projecte)

$$EBITDA_i = Ingressos_i - Despeses_i \text{ (equació 4.2)}$$

El període escollit és anual, i es calcula aleshores el EBITDA global i el EBITDA anual.

El VAN, o Valor Actual Net, és un criteri d'inversió mitjançant el qual es pot determinar si la inversió en un projecte; expressa la rentabilitat del projecte en termes absoluts, en unitats monetàries. Serveix doncs per comparar la rentabilitat d'un projecte o comparar la rentabilitat de diferents projectes. El TIR és també un indicador de la tasa de rentabilitat d'un projecte, expressat en percentatge, però expressa el valor mínim de rentabilitat, doncs la fórmula iguala el VAN a 0. De forma indicativa, a més TIR més rentabilitat.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \left(\frac{V_T}{(1+k)^t} \right) - I_0 \text{ (equació 4.3)}$$

$$VAN = \sum_{t=1}^n \left(\frac{V_T}{(1+TIR)^t} \right) - I_0 = 0 \text{ (equació 4.4)}$$

On 'V_t' és el fluxe de caixa, 't' els períodes anuals, 'n' el end of life del projecte, 'k' la tasa de descompte i 'I₀' la inversió inicial

El ROI és l'acrònim de *Return of Investment*, i compara el benefici obtingut en relació a la inversió realitzada, mitjançant la següent fórmula:

$$ROI = \left(\frac{\text{Ganancia} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}} \right) \text{ (equació 4.5)}$$

De forma prèvia al càlcul d'aquests indicadors s'han de dimensionar els següents paràmetres:

- **Ingressos**
- **Despeses**
- **Flux de caixa**
- **Tasa de descompte**
- **End of life. Duració del projecte.**

4.1. Definició dels paràmetres

Al ser una proposta de projecte, afegit a la pròpia incertesa del valor de certs paràmetres, es realitza múltiples hipòtesis on aquests paràmetres prenen diferents valors per visualitzar la viabilitat en diferents escenaris.

End of life. Duració del projecte

Així doncs, estimarem que la planta de digestió anaeròbia i CHP té una vida útil màxima de 25 anys, un escenari promig amb una vida útil de 20 anys, i un escenari mínim amb 15 anys com la referència. Respecte els components de la planta de digestió anaeròbia i CHP, el que es considera crític de cara a poder donar servei tota la duració del projecte és la microturbina, però no es troba informació oberta sobre la evolució del rendiment de la turbina al llarg de la seva vida útil; com a recomanació dels tutors d'aquest projecte, s'estableix la vida útil de la microturbina en 8 anys sense disminució del rendiment, així doncs:

Escenari 1: 15 anys duració projecte i un recanvi de turbina

Escenari 2: 20 anys i dos recanvis de turbina

Escenari 3: 25 anys i tres recanvis de turbina

Taxa de retorn

Un dels paràmetres a dimensionar per al càlcul dels indicadors financers com el VAN és la taxa de retorn. La taxa de retorn també es anomenada taxa de descompte, i expressa el benefici respecte una inversió durant un període de temps, com una proporció de la inversió original; en els casos, com en aquest projecte, quan aquest període de temps és anual, rep el nom de retorn anual []

En el treball final de màster, *'Proyecto de viabilidad de una planta de Biogás'* de Rubén Rodríguez Camacho per la *Universidad de Oviedo* s'estableix una taxa de retorn de un 10,22%, agafant també aquesta taxa de retorn per aquesta proposta de projecte. [(51)]

Al ser una proposta de projecte, es pot plantejar desde un prisma més col·laboratiu, per això, estudiarem les hipòtesis de una taxa de retorn de un 5 i un 8%.

Flux de Caixa, V_t

El flux de caixa correspon als ingressos i despeses per cada període de temps, en el cas d'aquesta proposta de projecte, el flux de caixa es representa en períodes anuals i vindria a ser:

$$V_i = Ingressos_i - Despeses_i = Ingressos_i - Cost\ Variable_i \quad (\text{equació 4.6})$$

El flux de caixa pot variar a cada període doncs els ingressos i les despeses varien, també varia doncs en funció de les hipòtesis plantejades.

4.2. Subvencions

Les subvencions a les que aquest projecte pot aspirar es classifiquen en tres grans apartats, a nivell europeu, estatal i autonòmic.

A nivell europeu existeixen tres programes específics als que aquest projecte pot presentar sol·licitud, el programa interregional mediterrani o INTERREG-MED, el INTERREG POCTEFA i el Programa LIFE.

El programa INTERREG-MED és un programa de ajudes europeu enfocat a *stakeholders* tant mediterranis com a d'altres regions europees, on es promou que les entitats col·laboradores adrecin els principals reptes de un creixement sostenible i innovació. [(52)]

El programa INTERREG POCTEFA es tracta de un programa d'ajudes per a fomentar el desenvolupament sostenible en el territori transfronterer entre Espanya, França i Andorra. Es pot contemplar doncs contemplar com a una proposta per a futur projectes estudiar com es podria adaptar el projecte a aquesta programa, i veure si es podria realitzar una planta viable.[(53)]

El programa LIFE és l'únic instrument financer de la Unió Europea destinat exclusivament al medi ambient, tal i com es recull en la web del *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico*. [54] Va ser desenvolupat inicialment per el període 2014~2020 i complir amb els objectius de la Estrategia Europea 2020, s'està treballant en una nova convocatòria LIFE 2021, i que cobreixi el període 2021~2027, centrant-se sobretot en els següents aspectes:

- Naturalesa i biodiversitat
- Economia circular i qualitat de vida
- Mitigació i adaptació al canvi climàtic
- Transició a la energia neta.

Aquests quatre aspectes es divideixen en dos subprogrames, el subprograma Medi Ambient i el subprograma Acció per el Clima.

Si la nova convocatòria (2021~2027) segueix les característiques de l'anterior (2014~2020) es financen els següents tipus de projectes:

- **Projectes pilot:** Projectes que apliquin tècniques o mètodes que no hagin sigut aplicats anteriorment, que ofereixin una avantatge mediambiental o climàtica en comparació amb les pràctiques actuals i que posteriorment es puguin aplicar a major escala en situacions similars.
- **Projectes de demostració:** Projectes que posen en pràctica metodologies que són nous en el context específic del projecte, com el context geogràfic, ecològic o socioeconòmic i que es podrien aplicar en altres llocs en circumstàncies similars.
- **Projectes de millors practiques:** Projectes que apliquin tècniques d'avantguarda, rentables i adequats tenint en compte el context específic del projecte.
- **Projectes integrats:** Projectes que implementen a gran escala territorial les estratègies mediambientals exigides per les normatives mediambientals concretes de la Unió Europea.
- **Projectes de assistència tècnica:** Projectes que presten suport financer per ajudar els sol·licitants a preparar projectes integrats i vetllar per a que aquests projectes compleixin els requisits tècnics, financers i de terminis del Programa LIFE.
- **Projectes de creació de capacitats:** Projectes que presten suport financer a les activitats necessàries per desenvolupar les capacitats dels Estats per tal de que puguin participar de forma més eficaç en el Programa LIFE.
- **Projectes preparatoris:** Projectes de suport a les necessitats de desenvolupament i aplicació de la política i legislació mediambiental i climàtica de la Unió Europea.
- **Projectes de informació, sensibilització i difusió:** Projectes destinats a donar suport a la comunicació i fomentar la difusió de informació i sensibilització en els àmbits dels subprogrames de Medi Ambient i Acció per el clima.

Tal i com s'extreu en la web del MITECO, el programa LIFE 2014~2020 va finançar dos instruments financers:

- Mecanisme de finançament del capital natural: Instrument financer que es va posar en pràctica en els dos subprogrames amb la finalitat de demostrar i assajar un enfocament de finançament innovador per a projectes que promoguin la conservació del capital natural en les àrees de Naturalesa i Biodiversitat i Adaptació al canvi climàtic.
Per al període 2014~2017 aquets instrument va disposar de 30.000.000€ en el subprograma Medi Ambient i uns altres 30.000.000€ per el subprograma Acció per el Clima.
- Instrument de finançament privat per a la eficiència energètica (Instrument PF4EE): Instrument financer pilot previst per el subprograma Acció per el Clima per posar a prova un enfocament nou per solucionar el problema d'accés limitat a un finançament comercial adequat i assequible per les inversions en eficiència energètica derivades de les prioritats nacionals. Per al període 2014~2017 aquest instrument va disposar de 80.000.000€ en el subprograma Acció per el Clima.

No es sap si la nova convocatòria seguirà el mateix procediment/funcionalitat, en el sentit de tipologia de projectes a finançar i instruments financers; però es suposa que sí de cara a poder donar i

A nivell estatal, fins l'any 2015 va existir un marc de subvencions a la gestió de purins, amparat en el *Real Decreto 949/2009, de 5 de junio, por el que se establecen las bases reguladoras de las subvenciones estatales para fomentar la aplicación de los procesos técnicos del Plan de biodigestión de purines*. Avui dia però, aquest Real Decret va ser derogat per un on es definia que aquest pressupost aniria dirigit a subvencionar el foment de races autòctones espanyoles, el *Real Decreto 181/2015*.

A nivell autonòmic, les subvencions existents actualment en matèria d'energies renovables són dividides en dos grans blocs, depenent de si la titularitat de les instal·lacions i l'activitat és un ens o consorci públic, o d'altra banda és una empresa privada. En aquest projecte entrariem dintre del segon cas, doncs es proposa la creació de una persona jurídica o empresa gestora de residus i titular de les instal·lacions i de l'activitat de producció d'energia, tot i així, la gran majoria de subvencions són destinades a ens públics i no empreses privades. Aquestes subvencions gestionades per la Generalitat i l'ICAEN es centren sobretot en ens públic, o a nivell privat, en la mobilitat, millora en l'eficiència de l'industria i renovació d'equipament o edificis i sector residencial; ja no es pot gaudir de les subvencions de l'ICAEN de les que va gaudir la planta referent de Vilasana, la línia de subvencions a instal·lacions d'energies renovables 2006.[(13)]

Tot i això, l'Agència Catalana de Residus, mitjançant les ordres TES/1711/2019, TES/1252/2019 i TES/2710/2019 fomenta la creació de projectes de foment de l'economia circular.[(55)][(56)][(57)]

Concretament, la TES/1252/2019 estableix en el seu segon article que poden ser subjectes de subvenció, entre altres, els projectes de *'Nous processos o tecnologies que permetin valoritzar residus que actualment no es valoritzen, o que augmentin el rendiment o la qualitat d'operacions existents de valorització de residus de tercers'*. Entenen que aquest projecte pretén reutilitzar els residus (purins) de explotacions porcínes intensives en explotacions on actualment no es valoren, o no de manera eficient, es conclou que complim aquesta condició. Es consideraria aleshores una activitat subvencionable de *Classe A: Projectes d'implementació en el mercat de nous productes o serveis*.

En cas de ser beneficiaris d'aquest ajut, *'l'import de l'ajut serà d'un màxim del 75% de les despeses objecte de l'ajut per a pimes, o del 50% si el beneficiari no és una pime, amb un màxim de 40.000 euros per projecte en el cas de projectes de les classes A'*, tal i com indica el article 5.

També és destacable l'article 6, que defineix les activitats subvencionables:

a) El cost laboral del personal propi: exclusivament les persones i el temps dedicat a la coordinació i execució del projecte subvencionat.

b) Els costos de consumibles i materials, excepte les matèries primeres usades per a la fabricació en sèrie de productes.

c) Les analítiques i els assajos directament relacionats amb la qualitat ambiental del producte o servei o la seva aptitud per a l'ús.

d) El lloguer d'equips i locals, en cas que siguin necessaris per al projecte.

e) La compra d'equips, només en el cas de projectes de classe A. Només serà subvencionable el cost d'amortització imputable al termini d'execució del projecte, el qual ha d'estar degudament justificat. El beneficiari ha de destinar els equips a la finalitat per a la qual s'ha concedit la subvenció durant un període mínim de 5 anys.

f) Les activitats de consultoria i/o enginyeria o altres serveis que siguin necessaris per a l'execució del projecte, inclosa l'elaboració de l'informe de resultats de viabilitat tecnicoeconòmica ambiental, si escau.

g) Les accions de comunicació derivades del projecte, només en el cas de les classes A i B, amb un màxim del 10% de l'import atorgat del projecte, amb un límit de 4.000 euros. En el cas dels projectes de classe C, com que en són part substancial, no és aplicable aquesta limitació.

h) El cost de la revisió del compte justificatiu per un auditor, fins a un import màxim del 5% del pressupost total subvencionable amb un límit de 1.000 euros. Aquest import es pot reduir en funció de l'import justificat i acceptat.

i) *Despeses indirectes. Poden ser subvencionables les despeses generals i els costos indirectes fins a un màxim del 5% del pressupost total subvencionable del projecte, sense necessitat de justificació.*

4.3. Ingressos

En l'apartat 3.5.2 *Marc Energètic* d'aquest projecte s'ha definit el marc energètic actual a Espanya amb les diferents possibilitats retributives que hi ha hagut fins ara i també el nou camí que obre el *Real Decreto-Ley 23/2020*.

Els ingressos de la planta de biogàs vindran donats doncs per la activitat econòmica de producció i venda d'energia. La energia tèrmica produïda no generarà ingressos doncs es únicament utilitzada com a font de calor per les necessitats tèrmiques del digestor. Els ingressos depenen doncs del preu de la energia elèctrica venuda, però també de la quantitat d'energia elèctrica venuda:

$$Ingressos_i = e_i \text{injectada} * \text{preu energia} \quad (\text{equació 4.7})$$

La quantitat d'energia elèctrica injectada a xarxa ha sigut calculada en l'enginyeria del projecte, concretament en l'apartat *Connexió elèctrica a la xarxa i energia injectada* i prenia el següent valor:

$$E_{produïda} = 451,08 \text{ kW} * 365 * 24 = 3951460,8 \text{ kWh}$$

Com hem vist anteriorment, es considera que la microturbina no perd rendiment durant la seva vida útil, però es selecciona una vida útil més aviat curta. Sabent que la energia injectada a xarxa serà la mateixa per cada període, que definir doncs un preu per a l'energia injectada.

Dins el marc energètic, com hem vist en l'apartat 3.5.2 *Marc Energètic*, podem establir diferents hipòtesis d'ingressos generats en funció del mercat energètic o retribució escollida. El mercat energètic al que ens acollim doncs defineix el preu de l'energia, i així doncs s'analitza les diferents opcions disponibles en funció del mercat o retribució econòmica i es plantegen les hipòtesis pertinents, una per cada preu diferent:

Retribución específica para la producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables

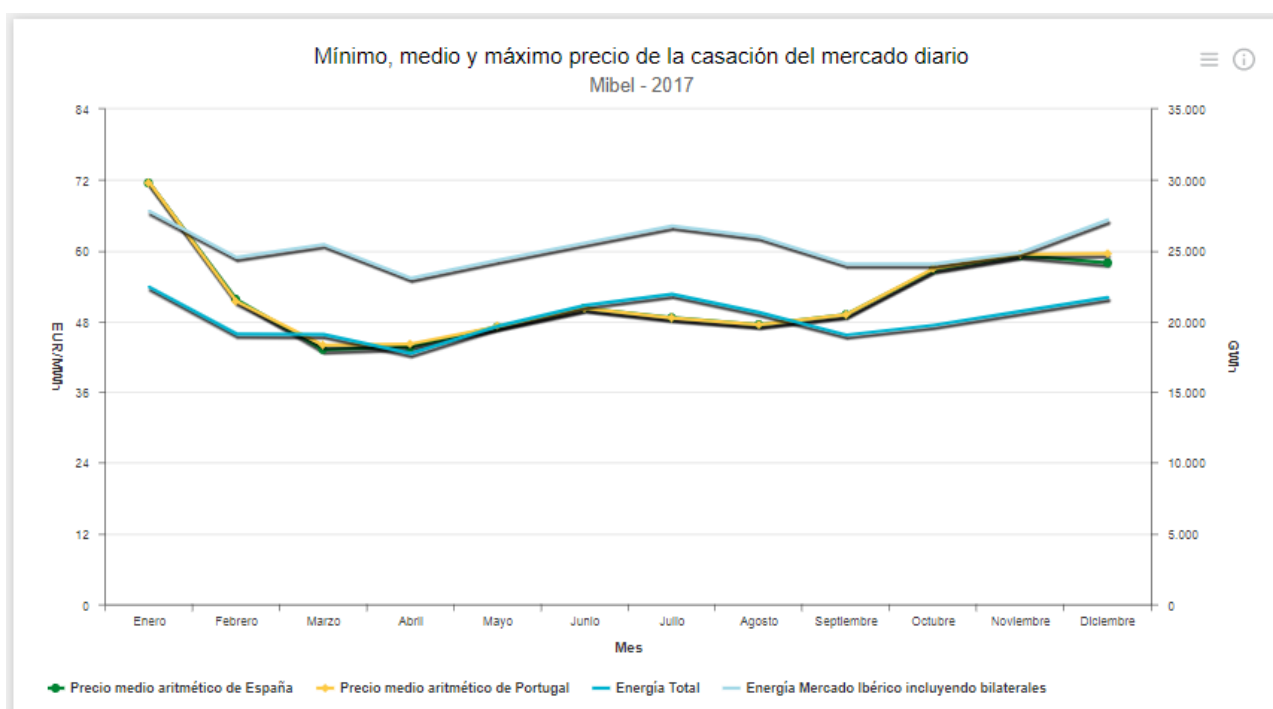
Com s'ha definit en l'apartat 2.4.2, és una convocatòria de caràcter extraordinari i des de l'any 2017 no s'ha publicat cap convocatòria d'aquest règim. Aquest fet, juntament amb l'aparició durant la realització de la proposta de projecte de noves disposicions retributives, com la que legisla el *Real Decreto 960/2020* fa que no es pugui desenvolupar una hipòtesis on el projecte s'aculli a aquesta retribució.

Retribución por los servicios de ajuste

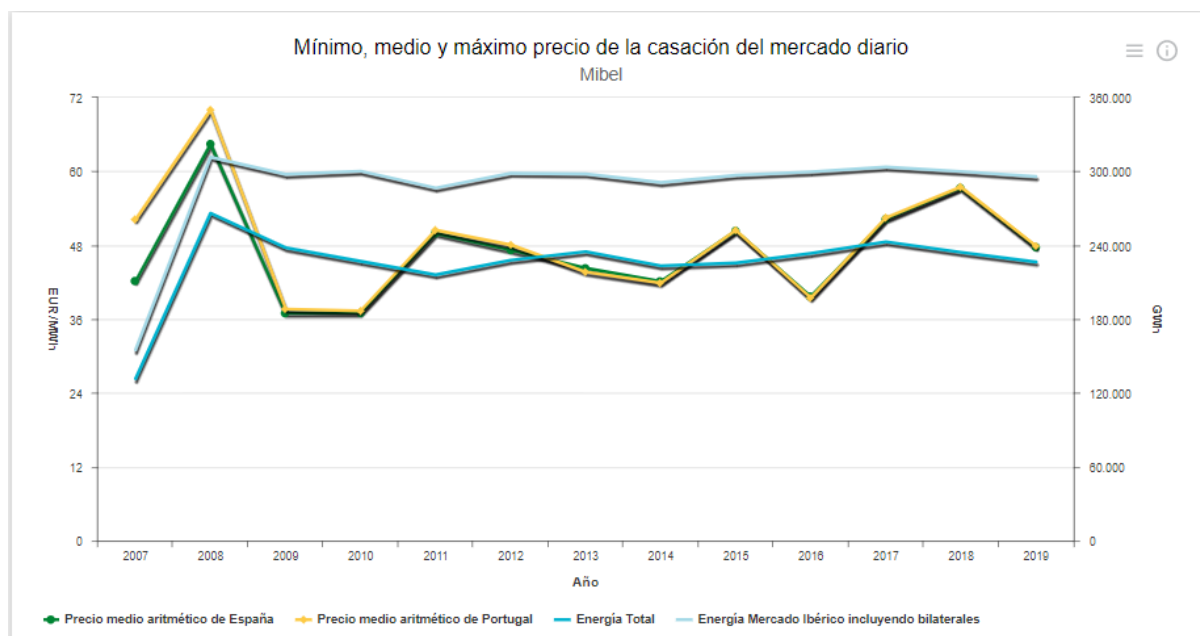
Com hem vist en l'apartat 2.4.2, el valor mínim de les ofertes del mercat de servei d'ajust és de 10 MW disponibles, tant en el servei no retribuïble (servei primari), com en el retribuïble (servei secundari, terciari, gestió de desviaments). Sent finalment la potència instal·lada a la central de cogeneració de 600 kW, no podem complir amb aquest requisit com per estudiar una possible retribució mitjançant aquest servei.

Retribución asociada a la energía eléctrica negociada a través de los mercados

En l'apartat 2.4.2 s'ha definit també qui són els principals mercats, així doncs, en aquesta secció es definirà quin preu s'estima que es rebria per l'energia en cas d'acollir-se a aquesta retribució. Per a simplificació de les hipòtesis, es suposa que en tot cas la energia seria venuda al mercat diari, no al intradiari; així doncs només cal definir o estimar un preu de l'energia per aquest mercat. Sent un període anual el suposat en els indicadors de rentabilitat, també s'establirà un preu de l'energia anual. En el següent gràfic, extret de la web de l'operador de mercat OMIE [(58)] observem la evolució del preu de l'energia en el període compres entre el 2007 i el 2019

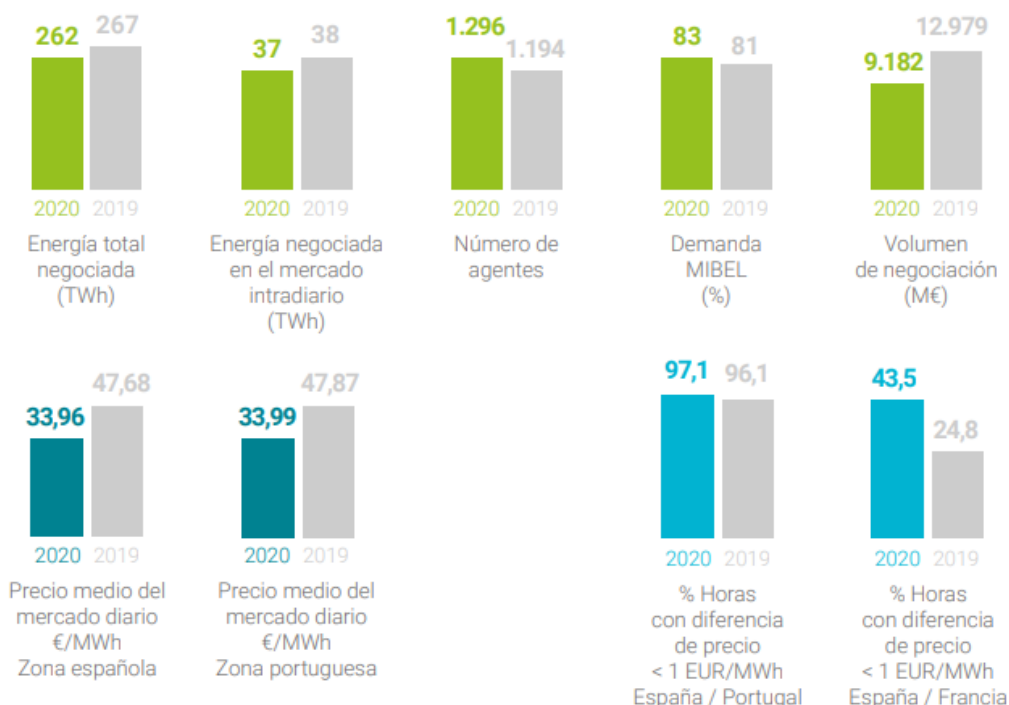


Gràfic 7: Evolució del preu de l'energia al mercat diari durant l'any 2017. Font: OMIE



Gràfic 8: Evolució del preu de l'energia durant el període 2007~2019. Font: OMIE

Com s'observa en la següent imatge, l'operador de mercat OMIE disposa de informes anuals des de 2012 ençà on es recull els principals resultats del mercat elèctric per aquell any, tals com l'energia total negociada i el preu promig per l'energia aquell any, entre altres. [(58)]



Gràfic 9: Exemple de informe anual de diferents factors energètics. Font: OMIE

Si fem un recull dels informes de cada any, desde el 2012 fins el 2020, es troba que el preu mig de l'energia ha sigut de 46,087 €/MWh, i el primer quartil i tercer quartil corresponen a uns 42,13 €/MWh i 50,32 €/MWh respectivament. Així doncs, respecte el preu del mercat diari es realitza la següent hipòtesis:

Preu desfavorable → 42,13 €/MWh

Preu esperat (promig) → 46,087 €/MWh

Preu favorable → 50,32 €/MWh

Subhasta renovables. Real Decreto 960/2020

Tal i com defineix ell mateix, l'objectiu del *Real Decreto 960/2020* [(33)] és *'la regulació de un règim econòmic accessible para instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables a través de un mecanismo de subasta '*.

'El real decreto autoriza a que la orden ministerial que, en su desarrollo, regule el mecanismo de subasta para el otorgamiento del régimen económico de energías renovables y las características de dicho régimen pueda especificar las tecnologías o el colectivo de instalaciones con características concretas que puedan participar en las subastas y el producto a subastar, que podrá ser potencia instalada, energía eléctrica o una combinación de ambas.'

Així doncs, per acollir-se al nou règim econòmic es subhastarà o bé la potència o la energia o una combinació. Això es concreta més en l'article 7 del *Real Decreto 960/2020*[(33)]:

'1. El producto a subastar será la potencia instalada, la energía eléctrica o una combinación de ambas y la variable de oferta el precio por unidad de energía eléctrica, expresado en euros/MWh.

2. El producto a subastar se establecerá en la orden por la que se regule el mecanismo de subasta'

Com hem vist en l'apartat 3.5.2, els projectes amb una potència inferior a 5 MW disposen de moltes més facilitats per incorporar-se a aquest règim, com per exemple la possibilitat d'exempció del procediment de subhasta.

També extreiem d'aquest Real Decret el següent:

' La obligación de venta de energía requiere, por tanto, que cada instalación acogida al régimen económico de energías renovables deba presentar oferta de venta en el mercado, a un precio libremente determinado por esta, y que dicha oferta resulte casada en dicho mercado. Adicionalmente, los ingresos que perciben las instalaciones por la venta de la energía dependen del precio obtenido en

la subasta y también del precio del mercado eléctrico cuando este se encuentra por debajo de cierto valor o una vez vendida la energía máxima objeto de la subasta'

I concretament, a l'article 3 especifica:

'El régimen económico de energías renovables permite la percepción de ingresos mediante la venta de energía en el mercado, con la particularidad de que, para un volumen determinado de energía y en un plazo definido, el precio de venta de la energía se calculará a partir del resultado de cada subasta'

En l'article 18 es formula els ajusts que es poden realitzar al preu de subhasta[(33):

'1. El precio a percibir, en cada periodo de negociación, por las instalaciones acogidas al régimen económico de energías renovables, por cada unidad de energía de subasta negociada en el mercado diario e intradiario, será su precio de adjudicación correspondiente al resultado de la subasta.

2. La orden por la que se regule el mecanismo de subasta podrá determinar que el precio a percibir por las instalaciones acogidas al régimen económico de energías renovables, en cada periodo de negociación, por cada unidad de energía de subasta negociada en el mercado diario e intradiario, será calculado a partir de su precio de adjudicación correspondiente al resultado de la subasta, siendo este corregido a partir de unos incentivos simétricos de participación en mercado mediante el porcentaje de ajuste de mercado'

$$\begin{aligned} \text{Precio a percibir en Mercado Diario } \left(\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right) &= \text{Precio de adjudicación } \left(\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right) + \\ &\text{Porcentaje de ajuste de mercado} \times \left(\text{Precio del Mercado Diario } \left(\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right) - \right. \\ &\left. \text{Precio de adjudicación } \left(\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right) \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Precio a percibir en Mercado Intradiario } \left(\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right) &= \text{Precio de adjudicación } \left(\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right) + \\ &\text{Porcentaje de ajuste de mercado} \times \left(\text{Precio del Mercado Diario } \left(\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right) - \right. \\ &\left. \text{Precio de adjudicación } \left(\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right) \right) \end{aligned}$$

Veiem doncs que el preu a percebre en cas d'acollir-nos a aquest Real Decret depèn tant del preu del mercat com del preu resultant de la subhasta. Per a realitzar les hipòtesis i simulacions es defineix que el preu de mercat rebrà els mateixos tres valors que en la hipòtesis on només es participa en el mercat diari, no es suposarà tampoc un preu de mercat intradiari doncs tota l'energia serà venuda al diari.

Per poder determinar un preu resultant de la subhasta s'ha d'estudiar primer amb més deteniment els requisits que regulen la subhasta. En la ordre ministerial *Orden TED/1161/2020, de 4 de Diciembre*, [59] es regula les condicions del mecanisme de la primera subhasta per acollir-se al nou regim econòmic de energies renovables. En el article 2 *Ámbito de aplicación* especifica el següent:

'La instalación podrá estar compuesta por una o varias tecnologías de las incluidas en la categoría b) definida en el artículo 2.1 del Real Decreto 413/2014, de 6 de junio'

És important tenir en compte aquest fet, doncs en cas de que la proposta de projecte no resultes viable, es pot estudiar hibridar la tecnologia ja existent al projecte (tecnologia de categoria b.7) amb altres tecnologies que compleixin els requisits que esmenta la ordre ministerial, com per exemple la energia eòlica o la fotovoltaica amb la finalitat de produir més energia renovable i consegüentment més ingressos; aquest fet obre la porta a futurs estudis on es pot tenir en compte aquesta consideració, plantejant propostes de projecte amb hibridació de tecnologies renovables. S'hauria de tenir en compte també però la preferència de no instal·lar més de 5 MW de generació, per la millor facilitat per incorporar-se al regim econòmic, tal i com s'esmenta a l'apartat 3.5.2.

Adicionalment, també es podria incorporar un sistema de emmagatzematge a gran escala (BESS), doncs tal i com especifica el article 2 punt 5 b):

'No disponer de sistema de almacenamiento, o en caso contrario, que el sistema de almacenamiento sea empleado para el almacenamiento exclusivo de la energía producida por la instalación.'

En l'article 5 es defineix el producte de la subhasta, que és la potència instal·lada. Així doncs, es presenta una oferta de subhasta per a una potència instal·lada i tecnologia específica; a més de la potència instal·lada, la oferta de subhasta ha de ofertar un preu en €/MWh i una franja de temps per a la que s'oferta, que ha de estar ubicada entre un mínim de hores i un màxim.

Això comporta que existeix una energia mínima i màxima a ofertar per aquest regim econòmic, producte de les hores màximes i mínimes de funcionament per la potencia subhastada, aquests límits es defineixen en l'annex de l'ordre ministerial i es mostren en la següent figura:

Taula 19: Extracte de la Orden TED/1161/2020, de 4 de diciembre. Font: BOE

Tecnologías	Subgrupo según artículo 2 del Real Decreto 413/2014, de 6 de junio	Número mínimo de horas equivalentes de funcionamiento anual (horas)	Número máximo de horas equivalentes de funcionamiento anual (horas)
Fotovoltaica.	b.1.1.	1.500	2.300
Solar Termoeléctrica.	b.1.2.	3.000	4.000
Eólica.	b.2	2.200	3.500
Resto tecnologías renovables.	b.3	2.000	4.000
Centrales hidroeléctricas (Potencia instalada menor o igual a 10 MW).	b.4	1.600	2.500
Centrales hidroeléctricas (Potencia instalada superior a 10 MW).	b.5	2.000	3.000
Biomasa.	b.6	6.000	8.000
Biogás, Biolíquidos.	b.7	6.000	8.000
Biomasa.	b.8	6.000	8.000

Els factors de correcció dels ingressos a percebre també es defineixen en l'ordre ministerial i es poden apreciar a la següent figura, sent el aplicable al nostre projecte un 0,25[(59)].

Taula 20: Extracte de la Orden TED/1161/2020, de 4 de diciembre. Font: BOE

Tecnologías	Subgrupo definido en el artículo 2 del Real Decreto 413/2014, de 6 de junio	Porcentaje de ajuste de mercado	
		Instalaciones con capacidad de gestión	Instalaciones sin capacidad de gestión
Fotovoltaica.	b.1.1	0,25	0,05
Solar Termoeléctrica.	b.1.2	0,25	
Eólica.	b.2	0,25	0,05
Resto tecnologías renovables.	b.3	0,25	0,05
Centrales hidroeléctricas (Potencia instalada menor o igual a 10 MW).	b.4	0,05	
Centrales hidroeléctricas (Potencia instalada superior a 10 MW).	b.5	0,05	
Biomasa, Biogás o Biolíquidos.	b.6, b.7, b.8	0,25	

En l'hipotètic cas de que el projecte no resultes viable, i es volgués hibridar tecnologies per a generar més ingressos, com s'ha esmentat anteriorment, de cara a realitzar la oferta de subhasta s'hauria de

diferenciar entre tecnologies i realitzar una oferta per cada tipus de tecnologia. Això s'interpreta de l'article 9 de la ordre ministerial, *Características de las ofertas* que cita el següent [(59)]:

'En aquellas subastas celebradas al amparo de esta orden los oferentes podrán efectuar sus ofertas con las siguientes características: a) Se podrá presentar una oferta diferente por cada producto, tecnología y categoría distinguible por sus especificidades, según se establezca en la resolución.'

Si la oferta ha sigut acceptada a la subhasta el teu preu de subhasta és el preu que hakis ofert; tot i això, aquest preu de subhasta ha de ser dintre de un cert rang, estant limitat per un preu mínim o de risc i un màxim o de reserva. Tot això s'extreu de l'article 8 del Real Decreto 960/2020[(33)], *Desarrollo del procedimiento de subasta*, que cita el següent:

'4. En la resolución de la persona titular de la Secretaría de Estado de Energía por la que se convoque la subasta será fijado un precio máximo, conocido como precio de reserva, que podrá tener carácter confidencial, expresado en euros/MWh con dos decimales, como un valor fijo o como resultado de una fórmula de cálculo. Para el establecimiento del valor de dicho precio de reserva se tendrán en consideración los precios del mercado eléctrico, los valores de los mercados de futuros y los costes de producción de cada tecnología en el momento de la convocatoria de la subasta. Adicionalmente se podrá fijar un precio mínimo, conocido como precio de riesgo, que podrá tener carácter confidencial, expresado en euros/MWh con dos decimales, como un valor fijo o como resultado de una fórmula de cálculo.'

5. La selección de las ofertas se realizará basándose, de forma general, en la siguiente metodología: a) Resultarán descartadas las ofertas cuyo valor de la oferta económica sea superior al precio de reserva y, en caso de existir precio de riesgo, se descartarán las ofertas con valor inferior al precio de riesgo.

b) Las ofertas consideradas serán ordenadas de menor a mayor valor de la oferta económica.

c) Se seleccionarán las ofertas empezando por la oferta de menor valor económico hasta alcanzar el cupo de producto subastado establecido en la resolución de convocatoria de la subasta, no resultando seleccionada una oferta cuya inclusión haga que se supere el cupo de producto'

Només quedaria doncs definir un preu per a la cassació de la subhasta,

Igual que el desenvolupament d'aquest *Real Decreto* és contemporani al desenvolupament del projecte, també ho és el desenvolupament i resultat de la primera subhasta.

Si es recullen i es tracten les dades obtenim un preu mig de cassació per aquesta subhasta de 25,003€, i com hem fet amb les altres variables, el primer quartil es situa en 23,94€ i el tercer en 26,9€. Així doncs, en aquest cas:

Cas desfavorable → 23,94€/ MWh

Cas promig → 25,003€/MWh

Cas favorable → 26,9€/MWh

És necessari comentar però que en aquesta primera subhasta només han sortit adjudicats projectes de energia fotovoltaica i energia eòlica; si projectes d'altres tecnologies haguessin sortit beneficiaris la fiabilitat de aquestes dades augmentaria.

Com es pot observar, no hi ha una diferència tant gran entre el preu de l'energia resultant de la subhasta en els diferents escenaris com si la hi ha en els diferents escenaris resultants d'estimar un preu de mercat.

Així doncs, els diferents escenaris d'ingressos queden definits de la següent forma:

Taula 21: Escenaris plantejats respecte els preus de l'energia i els ingressos. Font: Elaboració pròpia.

	Preu Mercat (€/MWh)	Preu Subhasta(€/MWh)	Preu final(€/MWh)	Ingressos(€)
Assignació per mercat diari	42,13		42,13	166475,044
	46,087		46,087	182110,974
	50,32		50,32	198837,507
Assignació per subhasta renovables	42,13	25,003	29,28475	115717,542
	46,087	25,003	30,274	119626,524
	50,32	25,003	31,33225	123808,158

4.4. Despeses

Les despeses plantejades en aquesta proposta de projecte es poden classificar en tres grans blocs, la inversió inicial, les despeses variables, i el cost regulat.

Es considera inversió inicial tota aquella despesa derivada de la implantació de la planta, tant el equipament necessari, com la obra civil o el cost d'enginyeria. En l'apartat del pressupost, tindrem doncs una llista desglossada de tots aquells elements que componen la inversió inicial. Les despeses variables van lligades a costos que poden variar en els diferents períodes anuals, així com podria ser els salaris dels treballadors, que també variaran amb l'IPC. El cost regulat és aquell que ve donat per la legislació que regula la proposta de projecte, ja sigui per tràmits o diferents necessitats.

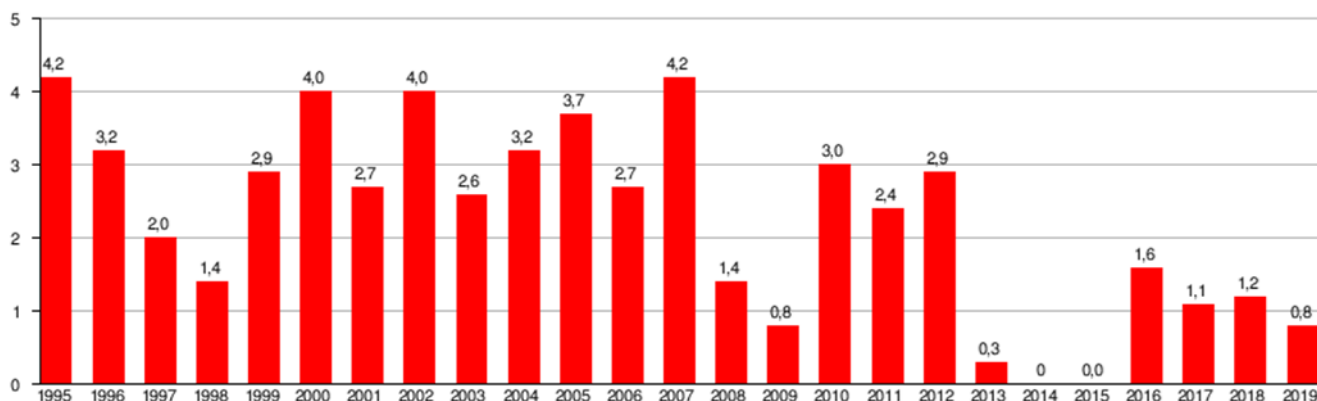
IPC és un acrònim per a definir Índex de Preu de Consum, i és un indicador utilitzat per comparar la variació del preu de productes de consum o de diferents bens i serveis. En aquest projecte l'IPC, com hem vist anteriorment, afecta al cost variable (doncs varia de forma anual, tal com salaris de treballadors, cost de reparacions, etc). En la següent gràfica observem la evolució de l'IPC a Espanya de forma anual, i mitjançant la mateixa podem establir diferents hipòtesis per a l'IPC.

Mitjançant el full de càlcul Excel, podem tractar les dades anteriors i observem que el primer quartil correspon a un IPC de un 1,2; el segon quartil a un 2,6 i el tercer a 3,2.

Cas favorable → IPC 1,2

Cas esperat → IPC 2,6

Cas desfavorable → IPC 3,2



Gràfic 10: Evolució de l'IPC. Font: Wikipedia

Així doncs, el fet d'estimar les despeses facilita també el fet de plantejar més escenaris i més realistes per a la viabilitat de la planta. Aquestes estimacions es donen sobretot en les despeses regulades i les despeses variables, en els conceptes de cost d'inversió i de operació/ manteniment. Les hipòtesis plantejades són tres i reben el nom del estudi en el que han sigut basades:

- **ICAEN:** En la guia de l'ICAEN 'Producció de biogàs per codigestió anaeròbia'[(13)] , que ha sigut utilitzada en altres apartats del treball, també es recull una estimació de les despeses derivades de la implantació de una planta de digestió anaeròbia amb cogeneració, en base a un recull de dades de plantes reals. Les estimacions que realitzen a la guia de l'ICAEN ja han sigut utilitzades en apartats tècnics d'aquest projecte i per això es considera que poden aportar fiabilitat a l'estimació de les despeses.
- **FRAUNHOFFER:** FRAUNHOFFER és una organització d'investigació alemanya, amb gran renom internacional i presència tant a Alemanya com internacional. Tal i com defineixen en la seva pàgina web, un dels seus objectius és la excel·lència en la investigació i en les investigacions que realitzin. De utilitat per aquets projecte es troba el document '*Levelized Cost of Electricity-Renewable Energy Technologies*' [(60)] on s'especifica les despeses unitàries (€/kW i €/kWh) per a diferents tecnologies, entre elles les plantes de cogeneració alimentades per biogàs.
- **Research Gate:** Fent recerca al portal de recerca *Research Gate* es va trobar l'article acadèmic '*Costs-Benefits Analysis of Small-Scale Biogas Plant and Electric Energy Production*'[(61)] on es realitza un anàlisi econòmic de una petita planta de producció de biogàs i posterior producció elèctrica. Tot i que realitzen un anàlisi de una planta de menor potència que la plantejada en aquesta proposta de projecte (250 kW_e en front als 600 kW_e d'aquesta proposta), degut a tot el context de la planta que proposen i dels residus utilitzats (purins de porc de una granja) es troben força similituds entre l'article acadèmic i aquesta proposta de projecte. En la següent imatge es troba una taula extreta de l'article acadèmic on es reflexa el preu unitari de diferents elements de la planta

*Taula 22: Diferents despeses unitàries per a una planta de biogàs.
Font: [(61)]*

Table 2
Specific costs

Parameter	Unit of measurement	Value
Service cost (including maintenance)	[€/kWh]	0.025
Anaerobic Digestion Plant specific cost	[€/m ³]	200
Cogenerator specific cost	[€/kW _e]	1.500
Additional storage tank	[€/m ³]	50
Biomass storage silos	[€/t]	50
Silage	[€/t]	40

4.4.1. Inversió Inicial

ICAEN

En la guia de l'ICAEN [(13)] es pot consultar la següent equació:

$$\left(\frac{\text{€}}{\text{kW}}\right) = 16,272 \cdot \text{Potència (kW)} - 0,2114 \quad (\text{equació 4.8})$$

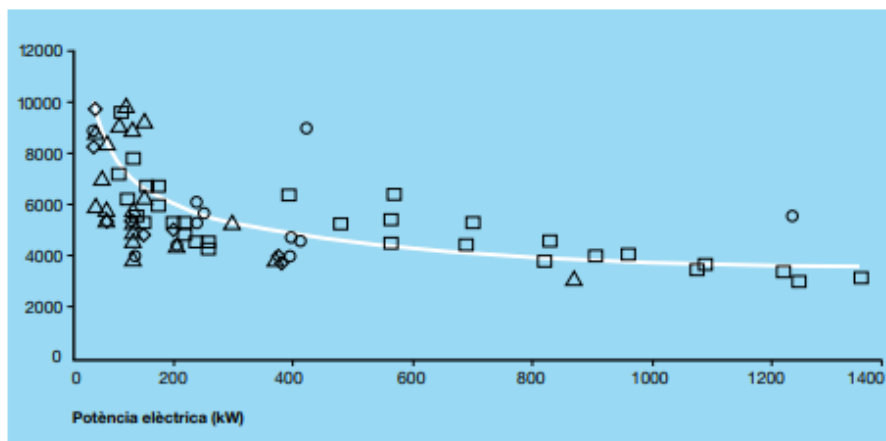
Substituint valors obtenim el següent:

$$\left(\frac{\text{€}}{\text{kW}}\right) = 16,272 * 600 - 0,214 = 9762,986$$

$$(\text{€}) = 9762,986 * 600 = 5857791,6 \text{ €}$$

Tal i com indiquen en la guia tècnica, aquesta equació s'ha aconseguit consultant diferents instal·lacions i avantprojectes tant a Catalunya com s d'altres indrets com plantes d'Àustria, Dinamarca i Alemanya. Teòricament, la equació esmentada ajusta els valors del següent gràfic, però no s'observa relació entre el valor obtingut i el que correspon gràficament per a una planta de 600 kW.

Fig. 8.1. Relació entre inversió unitària per unitat de potència elèctrica i potència elèctrica, a partir d'informació de diverses instal·lacions en funcionament o d'avantprojectes.



Gràfic 11: Corba per a diferents preus unitàris (€/kW) per a diferents plantes de Europa. Font: ICAEN

Si ens fixem en el gràfic, per a una planta de digestió anaeròbia de 600 kW de potència elèctrica correspondria unes despesa unitària força mes baixa, al voltant dels 5000 €/kW, que resultaria en una inversió de 3.000.000€

FRAUNHOFER

La organització d'investigació alemanya FRAUNHOFER recull en el document *Levelized Cost of Electricity- Renewable Energy Technologies* (60) el LCOE o cost de la energia per a diferents tecnologies. Concretament per el biogàs estipula que la inversió inicial pren un rang de (2000 a 4000 €/kW), que s'estableix en 3000 €/kW de cara a definir un valor concret i no un rang. Així doncs:

$$Inversió_{inicial}FRAUNHOFER = \frac{3000\text{€}}{kW} * 600kW = 1800000\text{€}$$

Research Gate

Com s'extreu de la taula 22, es defineix els costos de inversió en l'equip cogenerador, la planta de digestió anaeròbica i diferents tancs d'emmagatzematge. En aquesta proposta de projecte tindrem en compte els dos primers components esmentats i no els tancs d'emmagatzematge, doncs tampoc estan definits en la proposta. Així doncs:

- Cost de la planta de digestió anaeròbica:

$$Cost = Volum * preu = 5377(\text{€}) * 200 \left(\frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right) = 1.075.400\text{€}$$

- Cost de l'equip cogenerador:

$$Cost = Potència * preu = 600 kW_{el} * \frac{1500\text{€}}{kW_{el}} = 900.000\text{€}$$

Fent un total de 1.975.400 €.

Observem la gran coincidència entre el valor estimat seguint l'estudi de FRAUNHOFER i l'article acadèmic trobat a *Research Gate*, fet que fa considerar que aquesta vegada sigui més fiable el resultat trobat per aquests dos mètodes que el trobat mitjançant les estimacions de l'ICAEN. També s'hauria de tenir en compte però, quins elements inclou la estimació de l'ICAEN que no incloguin les altres dos hipòtesis.

4.4.2. Cost Variable

ICAEN

A la guia de l'ICAEN [(13)] també es fa referencia als costos de manteniment i personal de una planta de biogàs. Concretament, es considera el cost de funcionament en 1c€/kWh per a motors de cogeneració, un 1,5% de la inversió inicial per reparacions, manteniments i assegurança i una persona a temps complet per cada 200 kW de potència de l'instal·lació, en una base de 45.000 €/any. Tot i que el projecte es proposa amb microturbina i no motor, es considera valida la estimació, així doncs:

- 1c€/kWh produït
- 1,5% Inversió Inicial anualment
- Persona a temps complet cada 200 kW instal·lats i a raó de 45.000€/anuals.

Mentres que la inversió inicial ja està definida, així com la potència instal·lada a la planta, per calcular la electricitat produïda no es tindrà en compte la electricitat injectada a xarxa sinó el pas previ, és a dir, sense les pèrdues per la conversió. Així doncs:

$$P_{aprofitable} = 600 \text{ kW} * 0,902 = 541,2 \text{ kW}$$

$$E_{aprofitable} = 541,2 \text{ kW} * 365 * 24 = 4740912 \text{ kWh}$$

Es calcula doncs les despeses anuals segons la valoració de l'ICAEN:

- $4.740.912 \text{ kWh} * \left(\frac{1 \text{ €}}{100 \text{ kWh}}\right) = 47.409,12 \text{ €}$
- $\left(\frac{1,5}{100}\right) * 5.857.791,6 \text{ €} = 87.866,874 \text{ €}$
- $600 \text{ kW}_{instalats} * \left(\frac{1 \text{ persona}}{200 \text{ kW}}\right) * 45000 \text{ €} = 135.000 \text{ €}$

Fent un total de 270.275,994 €.

FRAUNHOFER

El mateix estudi de FRAUNHOFER esmentat anteriorment [(60)] estableix en 0,1014€/kWh el cost per la energia produïda per plantes que estiguin 7000 hores operatives, i aquets augmenta en cas de disposar de menys hores. Per aquest projecte es considera valida aquesta aproximació i per tant:

- 0,1014€/kWh el cost per la energia produïda per plantes que estiguin 7000 hores operatives.

Igual que en la simulació amb les dades de l'ICAEN, es considerarà la energia produïda sense tenir en compte les pèrdues. Addicionalment, en l'apartat de cost variable ja s'ha esmentat que tot i que el cost sigui estimat per una operativitat de 7000 hores, es considera aplicable a aquets projecte. Així doncs:

$$E_{aprofitable} = 541,2 \text{ kW} * 365 * 24 = 4740912 \text{ kWh}$$

$$Cost \ Variable = 4740912 \text{ kWh} * \frac{0,1014\text{€}}{\text{kWh}} = 480728,4768 \text{ €}$$

Research Gate

En la taula 22 extreta de l'article acadèmic esmentat anteriorment [(61)] també podem trobar una estimació de les despeses degudes a l'operació i servei de la planta de biogàs i equip cogenerador. Concretament estipulen les despeses en 0,025€ per kWh produït, amb el que es calcula la despesa global:

$$E_{aprofitable} = 541,2 \text{ kW} * 365 * 24 = 4740912 \text{ kWh}$$

$$Cost \ Variable = 4740912 \text{ kWh} * \frac{0,025\text{€}}{\text{kWh}} = 118522,8 \text{ €}$$

4.4.3. Costs regulats

Els costos regulats en aquest projecte es divideixen bàsicament en dos blocs, segons si venen donats per l'activitat en el mercat d'energia elèctrica o com a gestor de residus.

Degut a la activitat com a productor d'energia elèctrica hi ha associades certes obligacions, com la de pagar el peatge d'accés a la xarxa elèctrica; aquesta afirmació es defineix en l'article 26 de la *Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico, Derechos y obligaciones de los productores de energía eléctrica*, que concretament en el punt 3.i defineix el següent: [(24)]

'Contratar y abonar el peaje que corresponda, ya sea directamente o a través de su representante, a la empresa distribuidora o transportista a la que esté conectado por verter la energía a sus redes.'

Així doncs, queda palès la obligació de abonar el peatge d'accés a la xarxa. Aquest peatge és definit en la disposició transitòria primera del *Real Decreto Ley 14/2010, de 23 de Diciembre* [(62)], pel qual s'estableixen mesures urgents per a la correcció del dèficit tarifari del sector elèctric. Aquest peatge d'accés es defineix com a 0,5 €/MWh, així doncs:

$$\text{Peatge accés anual} = 0,5 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} * e_{\text{anual}}(\text{MWh}) \rightarrow 0,5 * 3951,46 \rightarrow 1975,73 \text{ €}$$

Adicionalment, per poder realitzar la preinscripció en el registre del règim econòmic de subhasta de renovables s'ha de disposar de certa garantia econòmica així com també per sufragar les despeses administratives, com s'estableix en el article 12 de la *Orden TED/1161/2020, de 4 de Diciembre* [(63)]. Concretament, aquesta garantia ascendeix a 60 €/kW. Sent 600 kW la potència nominal de l'equip cogenerador d'aquest projecte:

$$\text{Despesa}_{\text{garantia_subhasta}} = 600 \text{ kW} * \frac{60\text{€}}{\text{kW}} \rightarrow 36.000\text{€}$$

El cost regulat associat a ser gestor de residus ve donat per la legislació catalana, i es defineix com a garantia financiera en el document *'Càlcul de les Garanties financeres per activitats de gestió de residus'* de l'Agència Catalana de Residus [(64)]. Degut a la gran diversitat de gestors de residus, implícita per la gran varietat de tipologies de residus, aquest document estima el següent càlcul:

$$\text{Import}_{\text{total}} = \text{Import}_{\text{fixe}} + \text{Import}_{\text{variable}} + \text{FCRT} \quad (\text{equació 4.8})$$

L'import fixe es recull en la següent taula:

Taula 23: Import fixe en la garantia financera com activitat de gestió de residus. Font: Agència Catalana de Residus

Tipus activitat	Import (euros)
Activitats de molt baixa incidència ambiental (gestors de paper, ferralla, vidre, plàstics, fusta, tèxtils, tòners i qualsevol altre residu no perillós), amb uns superfície d'activitat de gestió de residus inferior a 200 m ² d'interior de tanca	3.000
Activitats de baixa incidència ambiental (gestors de paper, ferralla, vidre, plàstics, fusta, tèxtils, tòners i qualsevol altre residu no perillós), amb uns superfície d'activitat de gestió de residus entre 200 i 500 m ² d'interior de tanca	10.000
Activitats de gestió de residus no perillosos (i activitats de desballestament de VFU, tractament RAEE, CRT de residus perillosos amb capacitat inferior a 50 t) i plantes de valorització de runes	21.000
Activitats de gestió de residus perillosos	42.000
Activitats de transferència de residus fitosanitaris	7.000

Sent la nostra activitat la gestió de un residu no perillós, s'estima que entrem en la franja de 21.000 € en concepte fixe.

El concepte variable es recull també en la següent taula:

Taula 24: Import variable en la garantia financera com activitat de gestió de residus. Font: Agència Catalana de Residus

Per activitats de valorització	Valor unitari (v _i)
Residus no perillosos (RNP)	
Aigües de desllastrat MARPOL	0,7 €/t
Fems, purins	0 €/t
Runes	11 €/t
Vidre, terres filtració, brisa i restes de la producció de vi	7 €/t
Cable, paper, plàstic, tèxtil	14 €/t
Pinyolada	21 €/t
Oli vegetal, residus alimentaris	42 €/t
Residus carnis (categoria 2 i 1 -excepte MER's-, que no vagin a compostatge o a planta de biogàs)	140 €/t
Qualsevol altre residu no perillós (inclòs residus carnis amb destí a compostatge o planta de biogàs)	28 €/t

On veiem que els purins i fems no tenen un cost assignat. No ens correspon doncs import com a terme variable.

L'últim terme és dissenyat per aquells gestors on a més de una activitat de valorització efectuen una activitat de transferència i emmagatzematge. Aquest concepte és dubtós degut a que la valorització realitzada mitjançant la digestió anaeròbia comporta emmagatzematge de residus, però no hi hauria específicament la activitat de emmagatzemar residus més enllà del funcionament propi de la digestió anaeròbia. Es decideix però estimar que si s'ha de complir amb aquesta obligació per tal de estimar la pitjor situació. Així doncs, degut a la quantitat de purins que es tracta aquest import seria de 35.000€, tal i com s'observa en la següent taula:

Taula 25: Import d'emmagatzematge en la garantia financera com activitat de gestió de residus. Font: Agència Catalana de Residus

Capacitat transferència (tn/any)	euros
Fins a 50.000	0
50.000 – 100.000	35.000
Més de 100.000	70.000

Així doncs, el total de la garantia financera per a la gestió de residus ascendeix a:

$$Import_{total} = 21.000 + 0 + 35.000 = 56.000\text{€}$$

Adicionalment, s'ha de disposar de una assegurança de responsabilitat civil en relació als danys accidentals al medi ambient, que ascendeix a 175.000 € :

Taula 26: Import Assegurança responsabilitat civil en la garantia financera com activitat de gestió de residus. Font: Agència Catalana de Residus

Activitats de compostatge de residus municipals (<1000 t/a)	87,5 euros/t
Activitats de compostatge de residus municipals (1000 t/a)	87.500
Activitats de compostatge de residus municipals (>1000 t/a i =<5.000 t/a) essent CT= Capacitat de Tractament	[21,875 x (CT) + 65.625] en euros
Activitats de compostatge de residus municipals (>5000 t/a)	175.000 euros
Activitats de gestió de residus no perillosos (i CRT de residus perillosos amb capacitat inferior a 50 t)	175.000 euros
Activitats de valorització de residus perillosos i qualsevol activitat d'incineració de no perillosos	350.000 euros
Activitats de disposició del rebuig de residus perillosos	700.000 euros

Es recull les diferents despeses en una taula, en funció de si afecten a la inversió inicial (es paguen una única vegada) o les despeses variables (es paguen cada any):

Taula 27: Recull dels imports per la gestió de residus. Font: Elaboració pròpia.

Afecten a la inversió inicial	Afecten a les despeses variables
36.000€ (despesa garantia depòsit subhasta renovables, només per les hipòtesis on ens acollim a la subhasta de renovables)	1975,73 € (<i>peatge acces anual</i>)
56000€ (garantia financera gestió residus)	175.000€ (assegurança responsabilitat civil gestió residus)

Veient les despeses estimades anteriorment, i els ingressos esperats, els costos regulats que s'han estimat suposes incrementar les despeses en un percentatge molt elevat. No tant per el peatge accés anual a la xarxa com si la assegurança de responsabilitat civil per la gestió de residus, o les garanties financeres. Més concretament, només la assegurança de responsabilitat civil estimada suposaria quasi doblar les despeses; per això es decideix no considerar el cost regulat en les simulacions econòmiques i només considerar-ho en aquell cas on la planta resulti viable sense les despeses regulades, i després veure si segueix sent viable aplicant les despeses regulades.

De tota forma, queda pales la necessitat d'estudiar com gestionar les despeses regulades si es vol realitzar una implantació real de una planta amb característiques similars, i s'obren futures vies d'estudi sobre quin model de gestió es pot plantejar en cas de que la titularitat de la planta fos de les diferents explotacions, o de un tercer, si existeixen asseguradores que puguin assumir aquesta garantia, etc.

4.5. Simulació econòmica

Un cop s'ha definit i donat valor a tots els paràmetres, així com estimat els ingressos i despeses anuals, es pot procedir al càlcul de la viabilitat econòmica del projecte, que es realitzarà amb els indicadors esmentats anteriorment. Primerament però, es realitza un anàlisi del flux de caixa estimat, doncs el càlcul dels indicadors només té sentit en el cas de que es tingui un flux de caixa positiu. Amb un flux de caixa positiu es pot estimar quan es recuperarà la inversió o si es recupera, però amb un flux de caixa negatiu cada any et comporta pèrdues, i no seria possible recuperar la inversió o obtenir beneficis. En cas d'obtenir doncs un flux de caixa positiu es calcularia indicador econòmics com el *ROI*, i es procediria amb la resta de indicadors.

Els ingressos en els diferents escenaris no canvien, sinó que canvien en funció del preu hipotètic de venda de l'energia:

Taula 21: Escenaris plantejats respecte els preus de l'energia i els ingressos. Font: Elaboració pròpia

	Preu Mercat (€/MWh)	Preu Subhasta(€/MWh)	Preu final(€/MWh)	Ingressos(€)
Assignació per mercat diari	42,13		42,13	166475,0435
	46,087		46,087	182110,9739
	50,32		50,32	198837,5075
Assignació per subhasta renovables	42,13	25,003	29,28475	115717,5417
	46,087	25,003	30,274	119626,5243
	50,32	25,003	31,33225	123808,1577

Fixant-nos doncs en els escenaris esmentats anteriorment:

ICAEN

Les despeses anuals segons la valoració de l'ICAEN han sigut calculades en les despeses variables:

- $4.740.912 \text{ kWh} * \left(\frac{1}{100} \frac{\text{€}}{\text{kWh}}\right) = 47.409,12 \text{ €}$
- $\left(\frac{1,5}{100}\right) * 5.857.791,6 \text{ €} = 87.866,874 \text{ €}$
- $600 \text{ kW}_{instalats} * \left(\frac{1 \text{ persona}}{200 \text{ kW}}\right) * 45000 \text{ €} = 135.000 \text{ €}$

Fent un total de 270.275,994 €. Si calculem el flux de caixa en cadascuna de les hipòtesis obtenim el següent:

Taula 28: Flux de caixa per els diferents preus de l'energia en un escenari de despeses segons ICAEN. Font: Elaboració pròpia

Ingressos(€)	Cost Variable (€)	Flux de caixa (€)
166475,0435	270275,994	-103800,9505
182110,9739	270275,994	-88165,02011
198837,5075	270275,994	-71438,48654
115717,5417	270275,994	-154558,4523
119626,5243	270275,994	-150649,4697
123808,1577	270275,994	-146467,8363

Observem que en cap de les hipòtesis obtenim un flux de caixa positiu, i així doncs, si la estimació de les despeses mitjançant les aproximacions de l'ICAEN són fiables, la planta no és viable. Veient aquest resultat, no cal tenir en compte doncs les despeses variables que comporten el cost regulat, tals com el peatge d'accés a la xarxa o l'assegurança de responsabilitat civil per la gestió de residus.

Adicionalment, s'estudia quin seria el preu de l'energia que faria que la planta presentés un flux de caixa de valor 0. Si no es tenen en compte els costos regulats, el preu necessari per no presentar pèrdues seria de com a mínim 68,4 €/MWh; si es tenen en compte tant el peatge d'accés a la xarxa i l'assegurança de responsabilitat civil, el preu necessari ascendeix a 113,18€/MWh.

FRAUNHOFER

En aquest cas, el cost variable es:

$$Cost Variable = 4740912 kWh * \frac{0,1014€}{kWh} = 480728,4768 €$$

Veien que el cost variable calculat és superior inclús a la simulació amb dades de l'ICAEN, ja es sap que resultarà en flux de caixa negatiu, com es demostra en les següent taula:

Taula 29: Flux de caixa per els diferents preus de l'energia en un escenari de despeses segons FRAUNHOFER. Font: Elaboració pròpia

Ingressos(€)	Cost Variable (€)	Flux de caixa (€)
166475,0435	480728,4768	-314253,4333
182110,9739	480728,4768	-298617,5029
198837,5075	480728,4768	-281890,9693
115717,5417	480728,4768	-365010,9351
119626,5243	480728,4768	-361101,9525
123808,1577	480728,4768	-356920,3191

Igual que en la simulació realitzada amb la informació de l'ICAEN, no s'estudiarà com afecta el cost variable degut al flux de caixa negatiu, que ja ens indica la no viabilitat del projecte.

En aquest cas, el preu de l'energia mínim per obtenir un flux de caixa com a mínim igual a 0 és de 121,66€/MWh, i si tenim en compte les despeses variables és de 166,45€/MWh.

Research Gate

Recordem que el cost variable en aquesta tercera hipòtesi és el següent:

$$Cost\ Variable = 4740912\ kWh * \frac{0,025\text{€}}{kWh} = 118522,8\ \text{€}$$

Com les dades de preu mercat, preu subhasta i preu final són les mateixes per els tres escenaris plantejats, s'adjunta a continuació només el resultat del flux de caixa en les diferents situacions:

Taula 30: Flux de caixa per els diferents preus de l'energia en un escenari de despeses segons l'article extret de Research Gate. Font: Elaboració pròpia

Ingressos(I)	Cost Variable (I)	Flux de caixa
166475,0435	118522,8	47952,2435
182110,9739	118522,8	63588,17389
198837,5075	118522,8	80314,70746
		I
115717,5417	118522,8	-2805,25834
119626,5243	118522,8	1103,724259
123808,1577	118522,8	5285,357651

Observem doncs que de fet només obtindríem un flux de caixa negatiu, (i per tant directament es sap que no es rentable), en la situació on es suposa el preu de mercat més baix i ens hem acollit a la subhasta de renovables. Addicionalment, veiem que si es tingues en compte el cost regulat estimat, cap dels escenaris seria rentable.

Definit el flux de caixa i la idoneïtat de certs escenaris, s'ha de calcular els indicadors econòmics esmentats a l'inici de l'anàlisi, i que ens donaran una idea sobre la viabilitat de la planta. Abans però, es desestima calcular aquest paràmetres per a les dos últimes hipòtesi, ja que donen un flux de caixa positiu però a simple vista es pot analitzar que no es podrà recuperar mai la inversió, doncs és únicament de 1103€ i 5285€ respectivament. Així doncs, es calcularan per a les tres primeres hipòtesi, (on la energia era venuda directament en el mercat diari), i que si representen un flux de caixa força més elevat.

El primer indicador que serà calculat és el *ROI* o *Return of Investment*, que es calcularà per a les hipòtesi seleccionades i per als tres diferents escenaris de duració el projecte, que recordem eren els següents:

Escenari 1: 15 anys duració projecte i un recanvi de turbina

Escenari 2: 20 anys i dos recanvis de turbina

Escenari 3: 25 anys i tres recanvis de turbina

Així com les despeses regulades s'ha decidit no afegir-les, doncs donen marge de maniobra a com es poden gestionar i a diferents hipòtesis de titularitat i 'qui ha de pagar que', no es pot fer el mateix amb la duració del projecte i de la turbina, a més si a sobre s'ha considerat que no disminuïa les seves hores operatives. En els tres escenaris, el cost d'inversió doncs pren el següent valor:

$$\text{Escenari 1: } 1.975.400\text{€} + 600 \text{ kW} * 1500 \frac{\text{€}}{\text{kW}} = 1.975.400 + 900.000 = 2.875.400\text{€}$$

$$\text{Escenari 2: } 1.975.400\text{€} + 2 * (600 \text{ kW} * 1500 \frac{\text{€}}{\text{kW}}) = 1.975.400 + 1.800.000 = 3.775.400\text{€}$$

$$\text{Escenari 3: } 1.975.400\text{€} + 3 * (600 \text{ kW} * 1500 \frac{\text{€}}{\text{kW}}) = 1.975.400 + 3 * 900.000 = 4.675.400\text{€}$$

Havent estimat les inversions necessàries per els diferents escenaris, podem procedir a calcular el ROI per els diferents preus de l'energia:

Taula 31: Retorn de la inversió per els diferents escenaris plantejats, tant de duració de projecte com de ingressos, dintre de l'escenari de despeses segons Research Gate. Font: Elaboració pròpia

Escenari	Preu Mercat (€/MWh)	Flux de caixa	Inversió	ROI
I (15 anys)	42,13	47952,2435	2875400	-0,749849185
	46,087	63588,17389	2875400	-0,668281767
	50,32	80314,70746	2875400	-0,581025036
I (20 anys)	42,13	47952,2435	3775400	-0,809481471
	46,087	63588,17389	3775400	-0,747358529
	50,32	80314,70746	3775400	-0,680902524
I (25 anys)	42,13	47952,2435	4675400	-0,846155697
	46,087	63588,17389	4675400	-0,795991229
	50,32	80314,70746	4675400	-0,742327798

Observem que per tots els diferents escenaris com per els diferents preus de mercat, el ROI sempre és negatiu, en cap hipòtesi es recupera la inversió. Veient aquesta situació, no cal calcular el VAN, doncs és un càlcul semblant però tenint en compte la taxa d'amortització, és a dir, els interessos que apliquen els inversos que presten el finançament per el projecte. Es desestima també cap influència del IPC sobre la viabilitat de la planta en aquesta hipòtesi, doncs sense tenir-ho en compte directament ja ha resultat que no és viable.

Podem extreure que la planta, tal i com esta plantejada, no resulta un projecte viable. En algunes hipòtesi s'estima ingressos anuals positius, i en altres no, però en cap hipòtesi plantejada s'aconseguia un projecte rentable. Aquest fet obre la porta a posteriors estudis on es pretengui optimitzar la planta per tal de aconseguir una viabilitat tecno-econòmica de la mateixa.

5. Anàlisi de l'impacte ambiental

5.1. Marc Legislatiu

En la pàgina web del *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico* podem trobar la legislació europea i estatal que legisla sobre les avaluacions ambientals.

A nivell europeu, les directives a les que fa referència són les següents:

- “*DIRECTIVA 2001/42/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 27 de junio de 2001, relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente*”[(65)]
- “*DIRECTIVA 2011/92/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 13 de diciembre de 2011 relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente*”[(66)]
- “*DIRECTIVA 2014/52/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 16 de abril de 2014 por la que se modifica la Directiva 2011/92/UE, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente*”[(67)]

A nivell Estatal, es fa referencia a la següent llei:

- “*Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.*”

Tal i com es determina en la *Ley 21/2013*, una avaluació ambiental es regeix sobre els següents principis:[(68)]

- Protección y mejora del medio ambiente.*
- Precaución y acción cautelar.*
- Acción preventiva, corrección y compensación de los impactos sobre el medio ambiente.* d) *Quien contamina paga.*
- Racionalización, simplificación y concertación de los procedimientos de evaluación ambiental.*
- Cooperación y coordinación entre la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas.*
- Proporcionalidad entre los efectos sobre el medio ambiente de los planes, programas y proyectos, y el tipo de procedimiento de evaluación al que en su caso deban someterse.*

h) Colaboración activa de los distintos órganos administrativos que intervienen en el procedimiento de evaluación, facilitando la información necesaria que se les requiera.

i) Participación pública.

j) Desarrollo sostenible

k) Integración de los aspectos ambientales en la toma de decisiones.

l) Actuación de acuerdo al mejor conocimiento científico posible

En la esmentada llei, també es diferencia entre les avaluacions ambientals estratègiques i les avaluacions ambientals simplificades. Aquesta proposta de projecte entraria dins el grup de avaluació ambiental simplificada ja que tal i com es recull en el "ANEXO II Proyectos sometidos a la evaluación ambiental simplificada regulada en el título II, capítulo II, sección 2": :[(68)]

Grupo 4. Industria energética.

a) Instalaciones industriales para: 1.º la producción de electricidad, vapor y agua caliente (proyectos no incluidos en el anexo I) con potencia instalada igual o superior a 100 MW

Tot i que el nostre projecte no disposa de una potència instal·lada igual o superior a 100 MW, en el Annex I fa referència als projectes que requereixen la avaluació ambiental estratègica i es defineix com aquelles instal·lacions on la potència instal·lada es superior a 300 MW. Veient que no compliríem els requisits de cap de les dos classificacions, es considera que és una estimació més realista necessitar la avaluació de impacte ambiental simplificada.

Com es recull en la *Ley 21/2013*, una avaluació de impacte ambiental simplificada disposa dels tres següents informes:[(68)]

- **Estudi de impacte ambiental:** (Document elaborat per el promotor del projecte que identifica i analitza els diferents riscos i efectes significatius sobre el medi ambient que poden ser derivats de la realització del projecte, també analitza la vulnerabilitat del projecte davant del risc d'accidents greus o catàstrofes, ja sigui externs o que es produeixin degut a la activitat del projecte i les conseqüències adverses en el medi ambient que deriven d'això. Finalment també proposen alternatives raonables, tècnicament i ambientalment viables, per prevenir i compensar els efectes adversos sobre el medi ambient)
- **Declaració de impacte ambiental:** (Document dependent de l'organisme ambiental corresponent, amb el que es finalitza la avaluació d'impacte ambiental. Avalua la integració dels aspectes ambientals en els projectes i determina les condicions que s'han d'establir per la

adequada protecció del medi ambient i dels recursos naturals durant la execució i explotació del projecte; i si procedeix, també durant la demolició del projecte.)

- **Informe de impacte ambiental:** (Informe determinant del organisme ambiental amb el que finalitza la avaluació d'impacte ambiental)

En el següent apartat es realitza un recull dels diferents paràmetres ambientals que podran definir les principals característiques ambientals d'aquesta proposta de projecte, i necessaris pels tres informes esmentats. Degut a ser una proposta de projecte, i per les característiques definides, és més possible definir l'estudi d'impacte ambiental més que la declaració de impacte ambiental o l'informe de impacte ambiental; afegit a aquest dos últims depenen dels organismes ambientals corresponents, i no dels promotors dels projectes.

A Catalunya l'ordenació del territori i l'urbanisme és legislat per el *Decret Legislatiu 1/2010* [(69)]; aquest Decret regula la ordenació, transformació, conservació i l'ús del terreny. Primerament, cal aleshores definir que la planta de biogàs es trobarà en terreny no urbanitzable segons el article 32 del *Decret Legislatiu 1/2010* [(69)]. Això és degut al valor agrícola dels terrenys en el que es troba. L'organisme regulador és el *Departament de Territori i Sostenibilitat*, a més de la *Comissió de Política Territorial i Urbanisme de Catalunya*, com a òrgan superior de caràcter consultiu; i aquests consideren favorablement construccions en terreny no urbanitzable sempre que aportin qualitat al medi agrari i natural, com seria una planta de digestió de purins que aprofita residus que comporten el perill de filtracions a les aigües subterrànies i subsol, i els transforma en productes de valor com biogàs per generar electricitat i calor i digestat utilitzable com a fertilitzant. Més concretament, l'article 47 del *Decret Legislatiu 1/2010* [(69)] declara en el apartat 6 a que estan permeses les noves construccions en terreny no urbanitzable sempre que:

'Las construcciones y las dependencias propias de una actividad agrícola, ganadera, de explotación de recursos naturales o, en general, rústica. Entre las construcciones propias de una explotación de recursos naturales procedentes de actividades extractivas, se incluyen las instalaciones destinadas al primer tratamiento y a la selección de estos recursos, siempre que estas actividades de selección produzcan un impacto ambiental menor si se llevan a cabo en el lugar de origen.'

En els articles 14 fins el 17 del *Decret Legislatiu 1/2010* [(69)] s'estableixen les competències municipals i comarcals en matèria d'urbanisme. Concretament, degut a la ubicació física de la planta, l'ens local pertinent és la Comissió Territorial d'Urbanisme de Lleida; que en aquest projecte li corresponen les següents funcions:

- Autoritzar la obra en sòl no urbanitzable.
- Emetre l'informe del procediment d'avaluació ambiental.

Segons el article 48 de aquest mateix Decret Legislatiu haurem d'aportar la següent informació:

- *Una justificación específica de la finalidad del proyecto y de la compatibilidad de la actuación con el planeamiento urbanístico y sectorial. b) Un estudio de impacto paisajístico.*
- *Un estudio arqueológico y un informe del Departamento competente en materia de cultura, si la actuación afecta restos arqueológicos de interés declarado. d) Un informe del Departamento competente en materia de agricultura si no es comprendido en un plan sectorial agrario.*
- *Un informe de la administración hidráulica, si la actuación afecta acuíferos clasificados, zonas vulnerables o zonas sensibles declaradas de conformidad con la legislación vigente.*
- *Un informe del Instituto Geológico de Cataluña, si la actuación afecta yacimientos paleontológicos o puntos geológicos de interés.*
- *Los otros informes que exija la legislación sectorial.*

De forma adicional a la legislació comentada, sense entrar en contradiccions amb la legislació sobre subproductes animals, les plantes de biogàs també han de seguir les directrius de *la Ley 22/2011 [(70)]* sobre residus i sòls contaminats tal i com indica el seu article 2. Aquest projecte, com hem definit en la introducció a aquest marc normatiu, dissenya el tractament dels residus mitjançant la planta de biogàs sense ser titular de les explotacions porcines intensives; és a dir, tracta i explota el residu però no és productor del mateix; per això, s'haurà de demanar el registre com a gestor de residus com indica el article 17 de la mateixa llei.

L'autoritat competent per a autoritzar i atorgar els permisos com a gestors de residus són els organismes competents ambientals de cada comunitat autònoma, tal i com indiquen els articles 27 i 12.4. Aquests organismes han de vetllar per tal de que les activitats que autoritzen lluitin contra el canvi climàtic i no suposin cap risc per l'aigua, aire, sòl, fauna i flora; a més de no suposar un soroll o olor incòmode.

Concretament a Catalunya, l'organisme corresponent és la *Agència de Residus de Catalunya*, que forma part de la Secretaria de Medi Ambient i Sostenibilitat; i les autoritzacions ambientals es van legislar a nivell autonòmic mitjançant la *Llei 20/2009 [(71)]* i el *Decret 197/2016 [(72)]*. L'ens local amb competències per atorgar les autoritzacions, per la ubicació física del projecte, correspon a la *Oficina de Gestió Ambiental Unificada a Lleida (OGAU)*. Un cop aquest organisme ha atorgat les corresponents autoritzacions, aquestes han de ser comunicades als registres de la *Agència de Residus de Catalunya*; concretament, el registre que ens pertany és el Registre general de persones gestores de residus de Catalunya, regulat pel *Decret 197/2016*, de 23 de febrer.

Les inscripcions per a la autorització ambiental, tal i com descriu l'article 12 del *Decret 197/2016*, necessiten constar de la següent informació bàsica:

a) Nom o raó social de l'empresa, adreça de l'establiment on es realitza l'activitat, si escau, i sexe, en el cas de persones físiques.

b) NIF/NIE, segons sigui procedent, de la persona física o jurídica gestora. c) Nom i NIF/NIE de la persona responsable dels residus.

d) Que es disposa de llicència o autorització i, en el cas d'activitats subjectes a la Llei 20/2009, del 4 de desembre, de prevenció i control ambiental de les activitats, que s'ha realitzat la comunicació corresponent del control ambiental inicial favorable o, si escau, quan l'òrgan competent hagi informat favorablement en relació amb la inspecció ambiental, i que s'ha donat compliment a les condicions imposades per la llicència o autorització per a l'exercici de l'activitat.

e) Document acreditatiu del dipòsit de la fiança, en la quantia que disposi la llicència o l'autorització, per complir les obligacions adquirides en relació amb el desenvolupament de l'activitat i per pagar les sancions.

f) Si escau, pòlissa de l'assegurança subscrita per respondre dels danys i perjudicis ocasionats i per regenerar els recursos naturals o els espais degradats.

g) Nom de l'empresa explotadora, si escau

Actualment, mitjançant aquesta llei i l'Ordre MAH/611/201, es va establir que la sol·licitud de l'estudi d'impacte ambiental o la llicència ambiental es pot realitzar mitjançant la pàgina web del Departament de Territori i Sostenibilitat.

5.2. Paràmetres ambientals

En l'apartat anterior hem vist els tres informes que conformen la avaluació d'impacte ambiental, i com el estudi d'impacte ambiental és el que podem projectar en aquesta proposta de projecte. Per realitzar una estimació del estudi d'impacte ambiental, es designaran els paràmetres ambientals més susceptibles de ser controlats.

Aquest treball serà basat en dos avaluacions ambientals que es consideren similars a aquest projecte, o almenys és la informació disponible més semblant a la proposta de projecte. Les avaluacions en concret son "DECLARACIÓN AMBIENTAL 2017" del Grup TERSA [(73)] per a la planta d'aprofitament energètic de biogàs U.T.E Biogàs Garraf i "ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL POR INSTALACIÓN DE COGENERACIÓN CON MOTOR DE BIOGÁS DE 330 kWe EN GESTREVIN"[(74)] realitzat per Soluciones de Ingeniería Energética Aplicada (SIEIA). El primer és doncs el més semblant en objectius a aquest projecte, però també resulta interessant analitzar la avaluació de la instal·lació de cogeneració.

Després d'analitzar els dos documents, queda palès la necessitat de llistar els principals indicadors mediambientals, o paràmetres a controlar, i la susceptibilitat de l'impacte sobre cada paràmetre. Així doncs, si es llisten, els principals paràmetres a controlar serien els següents:

- Ubicació i sorolls
- Residus (sòlids i líquids)
- Recursos hídrics
- Emissions

Tot i ser una activitat que envolta residus i generació amb emissions, es considera que l'activitat té un impacte ambiental positiu doncs pretén solventar els problemes derivats de la gestió convencional dels purins, tals com la filtració de purins cap als recursos hídrics o l'excés de certs nutrients al sol després de abocar-hi purins. És cert que és una activitat que genera emissions, però tal i com es s'analitzarà més específicament en el paràmetre ambiental pertinent, es considera que redueix més emissions de les que genera.

Ubicació i Sorolls

Al ser una proposta de projecte, on es pot escollir la ubicació més idònia o convenient per el mateix, els sorolls emesos a la planta és una variable que es tindrà en compte de cara a una possible afectació a veïns i/o ecosistema que l'envolta. En l'estudi d'impacte ambiental de TERSA es recull en la següent taula quins són els valors admissibles de decibels dB[(73)]:

Taula 32: Valors màxims admissibles de sorolls. Font: TERSA

RESULTADOS INFORME CONTROL PERIÓDICO			
2009			
Medida en punto más cercano a zonas urbanizables	Punto 6	De 8 a 22h	De 22 a 8h
		37.5 dB	32.3 dB
Valores guía de inmisión ambiente exterior	Zona C	70 dB	60 dB
2010			
Medida en punto más cercano a zonas urbanizables	Punto 6	De 8 a 22h	De 22 a 8h
		44.6 dB	34.6 dB
Valores guía de inmisión ambiente exterior	Zona C	70 dB	60 dB
2015			
Medida en punto más cercano a zonas urbanizables	Punto 6	De 8 a 22h	De 22 a 8h
		46.4 dB	46.3 dB
Valores guía de inmisión ambiente exterior	Zona C	70 dB	60 dB

De l'estudi d'impacte ambiental referent a la instal·lació de cogeneració obtenim que les emissions sonores al motor de cogeneració son al voltant de 100 dB, valor que també es prendrà com a referència en aquest projecte. Així doncs, aquest paràmetre es susceptible de necessitar mesures de protecció.

Residus

El projecte proposat és precisament una planta de gestió de residus, però a la seva vegada també genera residus. Els residus generats a la planta és el conegut com digestat, que no és altre cosa que el residu utilitzat i que no es transforma en biogàs, la matèria residual després de la digestió.

Normalment és utilitzat com a fertilitzant degut a que conserva una gran càrrega orgànica i propietats molt positives com a fertilitzant, però tal i com defensa el grup d'investigació GICOM (Grup d'Investigació en Compostatge de la UAB), el digestat pot servir com a una bona matèria prima per l'obtenció de bioproductes, concretament, de biopesticides. [(75)]

Tot i que estimem un impacte positiu de la planta en quant a residus generats, la utilització del digestat (tant a nivell propi com a planta com la cessió a cap empresa) es considera que pot afavorir encara més com a impacte ambiental positiu i a més, afavoreix un dels objectius de la planta, el foment de l'economia circular.

Recursos hídrics

Com hem vist en la introducció d'aquesta proposta de projecte, el 46% de les masses d'aigua subterrànies a Catalunya estan afectades per excés de nitrat, i esta associat principalment a l'excés de fertilitzants i a les dejeccions ramaderes, fent que la generació de nitrogen sigui superior a la capacitat d'assimilació.

Una planta de gestió de residus, en aquest cas mitjançant la digestió anaeròbia, que gestioni els residus generats en explotacions intensives i per tant eviti la filtració de purins cap als recursos hídrics subterranis es considera que té un impacte positiu sobre la gestió dels recursos hídrics a la zona.

Emissions

A l'apartat 4.6 *Emissions* s'han definit les emissions estimades que es generaran a la planta de gestió de residus, i corresponents a la combustió del biogàs en una microturbina al 90,2% de càrrega. Des de un punt de vista legislatiu, s'ha comprovat que les emissions estimades de contaminants com el SO_x són inferiors a les estipulades en la legislació de instal·lacions tèrmiques de mitjana potència.

Des de un punt de vista ambiental, es determina que aquest projecte té un impacte ambiental en les emissions positiu, esgrimint els següents motius:

- Partint de la base que el biometà (o el biogàs en conjunt) és un agent contaminant 84 vegades més potent que el diòxid de carboni (CO₂) [(40)], el fet de controlar la digestió dels residus orgànics susceptibles a biodegradarse i formar biometà afavoreix la disminució de la emissió d'aquest contaminant a l'atmosfera. Això és degut a que al controlar la producció de biogàs i la seva posterior combustió en l'equip cogenerador no s'allibera biogàs a la atmosfera sinó els gasos producte de la combustió, mentres que si es degrada de forma natural aquest biogàs s'allibera a l'atmosfera sense cremar.
- Els gasos procedents de la combustió del biogàs, (estudiats en l'apartat 4.6 Emissions) no són més contaminants que el propi biogàs.
- La combustió de biogàs allibera calor que aprofitem per generar més biogàs, sent un procés continu doncs de reducció d'emissions.
- Si s'aconsegueix una simbiosi empresarial entre aquesta proposta de projecte i cap iniciativa empresarial que requereixi de calor industrial es pot considerar que es redueixen més encara

les emissions, doncs és molt possible que d'altra manera generessin el calor que necessiten mitjançant tecnologies convencionals més contaminants.

Segons *European Biogas Association (EBA)*, el biogàs i el biometà contribueixen de forma significativa en assolir la neutralitat climàtica per a 2050; reforçant així la idea del impacte ambiental positiu d'aquesta proposta de projecte.

Mesures de protecció

Tal i com s'ha analitzat, des de el punt de vista de promotor del projecte es considera que té un impacte ambiental positiu, tant en el referent a les emissions com als residus i recursos hídrics. L'aspecte on si pot sorgir un impacte ambiental negatiu és referent a les emissions sonores / soroll produït, per això, les mesures de protecció indicades van dirigides en aquest aspecte. Cal dir però que no es sap si tot i que l'equip cogenerador emeti tant soroll, aquest es veurà reflexat a la sortida de la planta o es dissiparà abans; en tot cas, tal i com hem vist en la taula anterior, s'hauria de reduir de 100 dB a 70 dB, que és el màxim admissible.

Si ens basem en l'informe d'impacte ambiental de la planta de cogeneració [(73)], podem determinar la següent proposta per tal de reduir el soroll:

- Silenciadors a l'entrada d'aire de l'equip de cogeneració
- Silenciadors a la sortida d'aire de l'equip de cogeneració
- Instal·lació de una porta acústica amb atenuació del soroll.

Aquest equipament s'estima que ha d'aportar com a mínim un atenuació de 30 dB, per tal de entrar en el rang admès; així doncs, si es desenvolupes el projecte s'haurien de fer les pertinents estimacions.

Adicionalment, es realitzen altres consideracions que afavoririen un impacte ambiental encara més positiu, es proposa una proposta de millora ambiental tant per les emissions com pels residus i els recursos hídrics.

Per a un impacte ambiental més positiu en quant a les emissions generades es proposa la següent mesura:

- Controladors de les emissions generades, tant a la xemeneia com a la sortida de l'equip cogenerador. Amb aquest controlador es podrà quantificar, mesurar i monitoritzar les emissions que realment es generen a la planta.
- Indicadors dels components dels fums emesos. Es proposa també monitoritzar la qualitat dels fums emesos per comprovar que les emissions sempre estan dins del rang estipulat legislativament.

De cara als residus i els recursos hídrics, afavorir una economia circular i simbiosi empresarial entre la planta gestora de residus i empreses o activitats destinades a la recuperació de nutrients crearia un impacte ambiental positiu doncs es gestionaria el residu generat (digestat). La fracció sòlida del digestat es pot recuperar com a biofertilitzants, com ha sigut esmentat anteriorment; d'altra banda, es poden recuperar recursos de la part més líquida/humida mitjançant un procés de nitrificació-desnitrificació.

Conclusions

De forma general, crec que s'han complert els objectius proposat amb aquest treball. Tot i que els resultats no han sigut satisfactoris, doncs la planta no resulta viable econòmicament, es considera que s'han complert els objectius proposats. Això és degut a que, en el moment de plantejar el treball, les incògnites inicials no eren quina potència o cabal tractat de residu feia rentable aquesta proposta de projecte sinó donar solució en aquelles zones on la densitat de explotacions intensives fos més elevada, amb el conseqüent impacte ambiental que això comporta, com s'ha vist al llarg d'aquest treball. Així doncs, el fet de poder plantejar una primera proposta de projecte que pretengui solventar aquesta casuística fa que consideri que s'han complert els objectius del treball.

Les conclusions extretes en aquesta proposta de projecte es poden desglossar segons les diferents branques que ha tingut el treball: *general, tècnica, econòmica i ambiental*. Primerament però es fa un recull de les variables trobades més importants, tant de la barreja de residus com de la viabilitat econòmica, per facilitar l'anàlisi de les conclusions:

Taula 33: Recull de les variables operatives per definir la planta per cada barreja de residus. Font: Elaboració pròpia

Resum tècnic		1era composició	2na composició	3ra composició
Residus tractats	Purins de porc (m ³)	59339,84	59339,84	59339,84
	Gallinassa (m ³)	1005,76	7645,35	7645,35
	Purins de boví (m ³)	2514,4	7945,16	7945,16
	Farratges (m ³)	-	-	953,14 tones
Producció de biogàs	m ³ anuals	955965,2997	1354839,744	1581229,03
Calor generada	kW (generats) (sortida cogeneració)	-	-	736,28 kW
Potència Instalada	kW	-	-	600 kW
Electricitat produïda	kWh	-	-	3951460,8 kWh

Taula 34: Recull dels diferents escenaris econòmics plantejats i la seva viabilitat. Font: Elaboració pròpia.

	Assignació per mercat diari		Assignació per subhasta renovables			
Simulació de despeses segons ICAEN		46,087		46,087	270.275,99	-88165,02011
		50,32		50,32	270.275,99	-71438,48654
						0
	Assignació per subhasta renovables	42,13	25,003	29,28475	270.275,99	-154558,4523
		46,087		30,274	270.275,99	-150649,4697
		50,32		31,33225	270.275,99	-146467,8363
						0
Simulació de despeses segons FRAUNHOFER	Assignació per mercat diari	42,13		42,13	480.728,48	-314253,4333
				46,087	480.728,48	-298617,5029
				50,32	480.728,48	-281890,9693
						0
		42,13	25,003	29,28475	480.728,48	-365010,9351
		46,087		30,274	480.728,48	-361101,9525
		50,32		31,33225	480.728,48	-356920,3191
						0
Simulació de despeses segons Research Gate	Assignació per mercat diari	42,13		42,13	118.522,80	47952,2435
				46,087	118.522,80	63588,17389
				50,32	118.522,80	80314,70746
						0
		42,13	25,003	29,28475	118.522,80	-2805,258337
		46,087		30,274	118.522,80	1103,724259
		50,32		31,33225	118.522,80	5285,357651

General

Respecte la disponibilitat de residus i factibilitat de una bona composició, s'ha demostrat que és possible trobar diferents explotacions intensives complementaries entre elles per poder formar una composició total favorable per el procés de digestió anaeròbia. Per tal de poder donar un context real al projecte es va escollir una zona on es presentava una gran densitat de explotacions intensives, però és aplicable a altres llocs que presentin una disposició de explotacions [tipus d'explotació (aviram, porc, etc) i quantitat de animals semblants].

S'obren diferents línies d'estudi que es podrien seguir o propostes de modificacions:

- Producció de biogàs en règim termòfil, i estudiar diferències amb el règim actual (mesòfil).
- Plantejament primer de la potència adequada per realitzar una planta viable i posterior estudi de la implantació.
- Estudi de la cadena de subministrament i logística entre les explotacions ramaderes i la planta de gestió de residus.
- A quines altres zones de Catalunya es extrapolable aquesta proposta de projecte, quines han de ser les condicions en quant a densitat i tipologia de explotacions ramaderes.
- Implantació de tècniques de pre-acondicionament dels purins entrants a la planta.
- Implantació d'un sistema propi de gestió del digestat.

Tècnica

Des de un aspecte tècnic la planta és viable, tal i com s'ha demostrat en l'apartat d'Enginyeria del projecte i s'obre la possibilitat de desenvolupar la planta de gestió de residus i afegir altres tecnologies, com per exemple realitzar un cicle combinat afegint una turbina de vapor. S'obren diferents vies o línies d'estudi i investigació tals com:

- Optimització tecno-econòmica per reduir el cost d'exploració.
- Aprofitament de l'excedent de energia tèrmica produïda amb la combustió del biogàs incorporant una turbina de vapor (cicle combinat).
- La hibridació de la central amb altres tecnologies renovables com pot ser un camp fotovoltaic o eòlic.

Conclusions econòmiques

Econòmicament ha quedat pales la no viabilitat del projecte com a planta autònoma, ja que en tots els escenaris plantejats els costos anuals de operació i manteniment de la planta han sigut superiors als ingressos. En aquest aspecte es plantejaran possibles solucions que poden ser estudiades a futur de cara a fer viable una proposta de projecte com la presentada en aquest treball. Al resultar una proposta de projecte no viable, és on es poden oferir més propostes de modificacions o línies a futur per tal de buscar una possible viabilitat del projecte.

Si es vol mantenir el context de planta productora d'energia, es proposa possibles solucions com per exemple:

- Aprofitament de l'excedent de energia tèrmica produïda amb la combustió del biogàs per integrar negocis que requereixin de calor industrial.

Alternativament, també es pot estudiar el dimensionament i construcció de la planta amb la finalitat de fer òptim l'autoconsum d'energia elèctrica. Aquesta solució o hipòtesi a plantejar és potser la més diferent a les solucions esmentades doncs suposa no esperar uns beneficis econòmics o ingressos per la explotació de la planta, sinó assumir que seria utilitzada com a tècnica de gestionar els residus i aportar un benefici (electricitat gratuïta) a altres activitats. Previsiblement si es busques quina és la potència òptima i cabal de residus a tractar òptim per aquesta planta obtindríem una potència i cabal més baixos del que es aconsegueix en aquest treball.

Per a generar un ingrés extra, també es poden plantejar les següents solucions:

- Cessió dels residus de la digestió (digestat) a una empresa externa la activitat de la mateixa sigui aprofitar els mateixos per generar producte amb valor afegit.
- Simbiosi empresarial amb alguna empresa que aprofiti el excedent de calor generada per les seves activitats, amb la conseqüent remuneració per la calor cedida.

S'extreuen altres conclusions, com la necessitat d'adaptació de les futures subhastes de renovables (Real Decret etc) a les necessitats de tecnologies diferents de les ja explotades com són la solar i la eòlica, úniques adjudicatàries de la ultima subhasta. Tot i que no resulti viable, es comprova que la diferencia entre l'evolució del preu de mercat i el resultat de l'última subhasta és força notable.

Conclusions ambientals

Ambientalment resulta un projecte interessant, doncs es considera que aporta un impacte ambiental positiu en tots els aspectes excepte en sorolls, fet que pot ser corregit. Pot ser interessant analitzar com les diferents propostes respecte les activitats que se'n poden derivar del treball milloren el impacte ambiental del mateix, inclús es pot plantejar en termes més econòmics per aconseguir un ingrés extra. Així doncs, es poden desenvolupar les següents línies de treball:

- Evaluació de l'impacte ambiental convencional i anàlisi de la millora que suposa la simbiosi amb activitats de gestió i aprofitament del digestat.
- Evaluació de l'impacte ambiental convencional i anàlisi de la millora que suposa la simbiosi amb activitats de gestió i aprofitament del calor industrial.

Pressupost i/o Anàlisi Econòmica

Per a realitzar el pressupost d'aquesta proposta de projecte, ens basarem en el pressupost dels següents treballs: *Estudi de viabilitat d'una planta de tractament de biogàs per a generar-ne gas natural sintètic apte per la flota d'autobusos de TMB de Jordi Casanovas Iborra* per la UPC [(76)] i en *Projecte de disseny d'una planta de biogàs de Anna Ruiz Tercero* per la UPC [(77)].

Tot i les diferències entre aquets treballs i aquesta proposta de projecte, servirà per realitzar una estimació pressupostaria del mateix, tant dels elements que componen el pressupost com del preu dels mateixos.

Els elements de la planta definits amb productes específics de marques existents, (és a dir, la microturbina *Capstone* per exemple i no altres com el sistema de canalitzacions), van ser definits per tal de poder dimensionar de forma correcta la proposta de projecte. S'ha intentat aconseguir preus contactant amb els proveïdors, però no es va aconseguir; el mateix succeeix amb els elements seleccionats de la empresa *Zorg Biogas*. Aleshores, per estimar els preus necessaris es calcularà el preu unitari en aquells elements on sigui possible i després s'adaptarà a aquest projecte. A més, es tindran en compte els requeriments de obra civil i construcció però de forma orientativa, doncs l'objectiu del treball és la proposta de projecte, com a pas previ a la implantació.

Per a poder estimar els preus unitaris, es considera el següent:

- En el treball de [Jordi Casanovas] es produeixen 486,96 m³/h de biogàs.
- En el treball de [Anna] es produeixen 319,79 m³/h de biogàs.
- En aquesta proposta es produeixen 180,5 m³/h de biogàs.

Així doncs, en els treballs seleccionats com a referència es produeix respectivament 2,7 i 1,7 més vegades biogàs que en aquesta proposta.

Explicat el context, el pressupost es pot desglossar en els següents components principals:

- Equipament digestió residus
- Equipament cogeneració
- Obra civil
- Enginyeria del projecte
- Laboratori

Equipament digestió residus [(76)] [(77)].

- **Tolva receptora de purins** (Element necessari per a la recepció dels purins en la planta, i com a pas previ al digestor)

No es troba informació al respecte per realitzar una mínima aproximació del preu d'aquest element.

- **Digestor de biogàs** (Principal component del sistema de digestió, doncs és el tanc on es dona la reacció. Com hem vist en la proposta de projecte, el digestor seleccionat incorpora un gasòmetre en la part superior, la cúpula, per tal de poder aprofitar el espai disponible.)

Es calcula el preu unitari del digestor, mitjançant el treball [(77)] i s'aplica doncs al nostre projecte, resultant un preu de 440.000€

- **Valvuleria** (Tot el sistema de vàlvules necessàries per el sistema de bombeig/compressor, així com les vàlvules antiretorn per evitar un retorn cap al digestor del flux de biogàs)

El preu de la valvuleria s'estima en 14.000€

- **Compressor** (El compressor de biogàs per adequar-ho a les necessitats de la microturbina)

El preu del compressor s'estima en 100.000€

- **Sistema de canalitzacions** (el sistema de canalitzacions per on circularà el biogàs i els purins)

El preu del sistema de canalitzacions s'estima en 14.000€.

El preu total de l'equipament per a la digestió de residus ascendeix a 568.000€

Equipament sistema cogeneració [(76)] [(77)].

- **Bescanviador de calor** (El bescanviador de calor necessari per tal d'aportar calor provinent del circuit d'aigua escalfat al digestor)

El preu de l'intercanviador de calor s'estima en 15.000€

- **Microturbina de gas** (L'equipament principal del sistema de cogeneració, com s'ha explicat en l'enginyeria del projecte)

El preu de la turbina de gas, amb tots els complements i equipament necessari per el seu bon control i operativitat, incloent el bescanviador de calor que escalfa el circuit d'aigua, s'estima en 525.000€

- **Torxa de seguretat** (La torxa és necessària per raons de seguretat en la planta)

El preu de la torxa s'estima en 28.000€

- **Sistema de bombeig** (El sistema de bombeig necessari de cara al circuit d'aigua)

Es considera que no es pot realitzar una aproximació fiable del cost de bombeig, degut a les grans diferències entre els sistemes de bombeig del projectes.

- **Valvuleria** (Tot el sistema de vàlvules necessàries per el sistema de bombeig, així com les vàlvules antiretorn per evitar un retorn cap al digestor del flux de biogàs)

El preu de la valvuleria s'estima en 14.000€.

- **Instal·lació elèctrica** (Tota la instal·lació elèctrica necessària per al bon funcionament de la planta així com la necessària per la connexió amb la xarxa i la injecció de l'energia produïda a la xarxa)

El preu de la instal·lació elèctrica s'estima en 25.000€

El preu total de l'equipament per a la digestió de residus ascendeix a 607.000€

Obra Civil [(76)] [(77)].

- **Adequació terreny** (Preparació del terreny per a la instal·lació de la planta)

El treball d'adequació del terreny es valorat en 10.900 €

- **Tanca perimetral** (Necessària per al tancament perimetral de la planta o de aquells elements que ho requereixin)

La tanca perimetral es valora en 7000€

- **Lloguer maquinària** (El lloguer de les màquines necessàries per tal de dur a terme les obres civils per la implantació de la planat)

El lloguer de la maquinària es valora en 15.000€

- **Il·luminació** (Sistema d'il·luminació exterior obligatori per normativa)

El sistema de il·luminació es valora en 5.000€

- **Permisos d'obra** (Tots els permisos d'obra i en general tots els permisos necessaris per part de les autoritats competents per tal d'implantar el projecte)

Els permisos d'obra es valoren en 8.500€

El cost total de la obra civil ascendeix doncs a 46.400€, però és un cost desvirtuat, doncs realment caldria incloure el preu de la instal·lació de tots els elements; també es probable que es necessitin realitzar més processos que els descrits.

Enginyeria del projecte [(76)] [(77)].

- **Treballs d'enginyeria.** (Els treballs d'enginyeria es refereixen al dimensionament i validació del projecte o proposta de projecte i la sencera gestió del projecte, això és adquisició dels elements, dimensionament, coordinació i gestió de totes les fases del projecte, gestió legislativa i ambiental, etc)

El treball d'enginyeria és valorat en 123.000€

- **Construcció (Direcció d'obra)** (Supervisió de la construcció del projecte)

La direcció d'obra és valorada en 32.000€

En aquest cas però no es considera un aproximació del tot fiable degut als objectius diferents de cada projecte, i no es considera que es pugui aplicar el cost unitari. El cost total de l'enginyeria del projecte ascendeix doncs a 155.000€

Laboratori

Com s'ha esmentat durant el projecte, de cara a la gestió de residus i la producció de biogàs és necessari disposar de un laboratori propi o si més no de realitzar les proves corresponents en un laboratori certificat extern; així doncs, pot formar o no part de l'equipament de la planta, de la qual cosa depèn la seva cotització o pressupost esperat. Addicionalment, és un element

que es considera que no aporta valor afegit a la descripció de la proposat de la planta, per la qual cosa no ha sigut definit en l'enginyeria del projecte.

Es desconeix el preu a pressupostar per realitzar les probes en un laboratori extern, o el cost de disposar de personal propi qualificat de laboratori, però si podem estimar el cost de equipament de un laboratori. Des de *Zorg Biogas* si es pot consultar el preu de disposar del equipament en la nostra planta, i s'estima en 27.000€ [(78)]

A forma de resum, tenim doncs el següent pressupost:

- **Equipament digestió residus 568.000€**
- **Equipament cogeneració 607.000€**
- **Obra civil 46.400€**
- **Enginyeria del projecte 155.000€**
- **Laboratori 27.000€**
- **Total 1.403.400€**

Aquest pressupost és merament estimatiu , per poder quantificar la proposta de projecte, però no es considera una aproximació del tot fiable; és per això que no s'ha tingut en compte a l'hora de fer la avaluació econòmica del projecte i l'estudi de viabilitat. Tot i això, sorprèn gratament com s'aproxima al cost d'inversió inicial plantejat segons les diferents hipòtesi estudiades en la avaluació econòmica.

Bibliografia

1. Nations, United. United Nations. *Department of Economic and Social Affairs. Sustainable Development*. [En línea] <https://sustainabledevelopment.un.org/memberstates/spain>.
2. España, Gobierno de. Agenda 2030. Objetivos Sostenibles. [En línea] <https://www.agenda2030.gob.es/objetivos/objetivo12.htm>.
3. Catalunya, Generalitat de. Llei 16 2017. [En línea] http://residus.gencat.cat/web/.content/home/consultes_i_tramits/normativa/normativa_catalana_en_materia_de_residus/Llei-16_2017.pdf.
4. —. Decret Legislatiu 1/2009. *Portal jurídic de la Generalitat de Catalunya*. [En línea] https://portaljuridic.gencat.cat/ca/pjur_ocults/pjur_resultats_fitxa/?action=fitxa&mode=single&documentId=497897&language=ca_ES.
5. Catalunya, Agència de Residus de. Tipus de residu. [En línea] http://residus.gencat.cat/es/ambits_dactuacio/tipus_de_residu/.
6. España, Gobierno de. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. *Produccion y mercados ganaderos, sectores-ganaderos, porcino*. [En línea] <https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/sectores-ganaderos/porcino/>.
7. Miguelañez, Ricardo. Euroganaderia. [En línea] http://www.euroganaderia.eu/ganaderia/reportajes/el-porcino-bate-sus-records-i_2648_6_3977_0_1_in.html.
8. agricultura. [En línea] <http://agricultura.gencat.cat/ca/serveis/registres-oficials/ramaderia-sanitat-animal/registre-explotacions-ramaderes/>.
9. Catalunya, Agència Catalana de l'aigua. Generalitat de. Zones vulnerables i nitrats. [En línea] Diverses consultes. <http://aca.gencat.cat/ca/laigua/estat-del-medi-hidric/zones-vulnerables-i-nitrats/>.
10. Demográfico, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto. Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes. [En línea] <http://www.prtr-es.es/>.
11. Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural. Generalitat de Catalunya. Dossier Tècnic. SANITAT ANIMAL (II). BOVÍ. [En línea]

<https://ruralcat.gencat.cat/documents/20181/4632846/DT32.+Sanitat+animal+%28II%29.+Bov%C3%AD/45956a1f-eea4-4b1a-9efd-c3742df8c075>.

12. Naturgy, Xavier Flotats. Fundación. El biogás. Actualidad y perspectivas de un gas renovable. [En línea] <http://cmes.cat/wp-content/uploads/2018/12/biogas-gas-renovable-xavier-flotats-diciembre-2018.pdf>.

13. Catalunya, Institut Català de l'Energia. ICAEN. Generalitat de. Producció de biogàs. [En línea] http://icaen.gencat.cat/web/.content/10_ICAEN/17_publicacions_informes/04_coleccio_QuadernPractic/quadern_practic/arxius/01_produccio_biogas.pdf.

14. Agència de Residus de Catalunya. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. Guia de tractament de les dejeccions ramaderes. [En línea] http://agricultura.gencat.cat/ca/departament/dar_publicacions/dar_publicacions_monografiques/dar_colleccio_monografies_d/dar_colleccio_altres_monografies/guia-tractaments-dejeccions-ramaderes/.

15. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. IDAE. BIOMASA DIGESTORES ANAEROBIOS. [En línea] https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_Digestores_Anaerobios_A2007_0d62926d.pdf.

16. Azúcar., Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de. Digestores Anaerobios. [En línea] <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf>.

17. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. Generalitat de Catalunya. Registre d'explotacion ramaderes. [En línea] <http://agricultura.gencat.cat/ca/serveis/registres-oficials/ramaderia-sanitat-animal/registre-explotacions-ramaderes/>.

18. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Producción eléctrica y cogeneración. [En línea] https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_prod_elec_y_cogeneracion_07_b5ba3c15.pdf.

19. UNION, EUROPEAN. BIOGAS3. [En línea] <http://www.biogas3.eu/eng/>.

20. UE, Diario Oficial de la Unión Europea. REGLAMENTO (CE) No 1069/2009 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO. [En línea] <https://www.boe.es/doue/2009/300/L00001-00033.pdf>.

21. —. REGLAMENTO (UE) No 142/2011 DE LA COMISIÓN. [En línea] <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:054:0001:0254:ES:PDF>.

22. Ministerio de la Presidencia, Gobierno de España. Real Decreto 1528/2012. [En línea] <https://www.boe.es/boe/dias/2012/11/17/pdfs/BOE-A-2012-14165.pdf>.
23. UE, Diario Oficial de la Unión Europea. DIRECTIVA 2008/98/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO. [En línea] <https://www.boe.es/doue/2008/312/L00003-00030.pdf>.
24. Estado, Jefatura del. Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico. Boletín Oficial del Estado (BOE). [En línea] <https://www.boe.es/buscar/pdf/2013/BOE-A-2013-13645-consolidado.pdf>.
25. —. Real Decreto-ley 23/2020, de 23 de junio. Boletín Oficial del Estado. [En línea] <https://www.boe.es/buscar/pdf/2020/BOE-A-2020-6621-consolidado.pdf>.
26. España, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Gobierno de. Real Decreto 244/2019, de 5 de abril. [En línea] <https://www.boe.es/boe/dias/2019/04/06/pdfs/BOE-A-2019-5089.pdf>.
27. MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO. Gobierno de España. Real Decreto 413/2014, de 6 de junio. [En línea] [Diverses Consultes]. <https://www.boe.es/boe/dias/2014/06/10/pdfs/BOE-A-2014-6123.pdf>.
28. Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. Gobierno de España. Resolución de 1 de agosto de 2017, Boletín Oficial del Estado. [En línea] <https://www.boe.es/boe/dias/2017/08/04/pdfs/BOE-A-2017-9317.pdf>.
29. España, Ministerio de Industria y Energía. Gobierno de. Real Decreto 2019/1997, de 26 de diciembre. [En línea] <https://www.boe.es/buscar/pdf/1997/BOE-A-1997-27817-consolidado.pdf>.
30. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Resolución de 18 de diciembre de 2015. Boletín Oficial del Estado. [En línea] <https://www.boe.es/boe/dias/2015/12/19/pdfs/BOE-A-2015-13875.pdf>.
31. Diario Oficial de la Unión Europea, UE. Reglamento (UE) 2015/1222 de la comisión, de 24 de Julio de 2015. [En línea] <https://www.boe.es/doue/2015/197/L00024-00072.pdf>.
32. Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. Gobierno de España. Resolución de 9 de mayo de 2018. BOE. [En línea] <https://www.boe.es/buscar/pdf/2018/BOE-A-2018-6295-consolidado.pdf>.
33. España, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Gobierno de. Real Decreto 960/2020, de 3 de noviembre. BOE. [En línea] Diverses consultes. <https://www.boe.es/boe/dias/2020/11/04/pdfs/BOE-A-2020-13591.pdf>.

34. X. Flotats, E. Campos, J. Palatsi y A. Bonmatí. Digestión anaerobia de purines de cerdo y co-digestión con residuos de la industria alimentaria. [En línea] <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/6699/porci%202001%20final.pdf>.
35. Cantabria, Paula Lamo. Universidad de. Aprovechamiento Energético de Biogás. [En línea] <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/9615/335536.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
36. Car, Fanny Mabel Carhuancho Leon, Judith Ramírez-Candia, Juan Guerrero Barrantes. Gestión ambiental de residuos avícolas mediante digestión anaerobia para la producción de fertilizantes orgánicos líquidos. Researchgate. [En línea] https://www.researchgate.net/publication/311958551_GESTION_AMBIENTAL_DE_RESIDUOS_AVICOLAS_MEDIANTE_DIGESTION_ANAEROBIA_PARA_LA_PRODUCCION_DE_FERTILIZANTES_ORGANICOS_LIQUIDOS.
37. (IDESCAT)., Institut d'Estadística de Catalunya. Cens agrari. [En línea] <http://www.idescat.cat/pub/?id=censag&n=5059>.
38. Conrado Garcia, Gisela Montero, Marcos Alberto Coronado Ortega, Marcela Acosta. Potencial energético de la paja de trigo en el valle de Mexicali. [En línea] https://www.researchgate.net/publication/260125611_POTENCIAL_ENERGETICO_DE_LA_PAJA_DE_TRIGO_EN_EL_VALLE_DE_MEXICALI.
39. Rey, Sebastián Matías Silva. Desarrollo de una Antorcha Multifuncional para Destrucción de Metano y Aprovechamiento de Energía Térmica. Universidad de Chile. [En línea] <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103841/memoria.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.
40. Barcelona, UAB Divulga. Universitat Autònoma de. Més enllà del biogàs com a energia renovable. [En línea] <https://www.uab.cat/web/detall-de-noticia/mes-enlla-del-biogas-com-a-energia-renovable-1345469002000.html?noticiaid=1345788663870>.
41. Yudong Yang, Lei Chen, Wen Zeng, Chengjun Wang, Aiguo Liu. Experimental study of biogas combustion and emissions for a micro gasturbine. [En línea] Diverses consultes. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0016236120303070?token=940F11EE25DCD6542A37B72E644DF5041FD5E88A6A16CFB9FCCF3678F04E831E3DF4A0C424C776427559A116ED64D45F>.
42. Cantabria., Lucas Elordi García. Universidad de. Diseño de un digestor para una planta de biogás agroindustrial. [En línea] <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/11909/Elordi%20Garc%C3%ADa%2C%20Lucas.pdf?sequence=1>.

43. Energy, Capstone Green. C600S. [En línea] <https://www.capstonegreenenergy.com/products/energy-conversion-products/capstone-microturbines/c600s>.
44. FUNKE. Intercambiadores de calor de carcasa y tubos. [En línea] https://www.funke.de/pdf/es/funke_rbwt_es.pdf.
45. IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético. Guía técnica: diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos. [En línea] <https://www.idae.es/publicaciones/guia-tecnica-diseno-y-calculo-del-aislamiento-termico-de-conducciones-aparatos-y>.
46. ISOVER. ISOVER Productos. [En línea] <https://www.isover.es/productos>.
47. Environmental Agency, UK. Guidance on Landfill Gas Flaring. [En línea] <https://www.sepa.org.uk/media/28988/guidance-on-landfill-gas-flaring.pdf>.
48. Biogas, Zorg. Antorchas de gas cerradas. [En línea] https://zorg-biogas.com/es/catalogo-de-equipos/antorchas-de-biogas/faii_200.
49. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Real Decreto 1042/2017, de 22 de diciembre. [En línea] <https://www.boe.es/boe/dias/2017/12/23/pdfs/BOE-A-2017-15368.pdf>.
50. Distribución, Endesa. Instalaciones privadas conectadas a la red de distribución. [En línea] https://www.edistribucion.com/content/dam/edistribucion/normast%C3%A9cnicasdeingenieriadere d/NRZ104_EPInstalacionesPrivadasGeneradoresATyMT_v2.pdf.
51. Universidad de Oviedo, Rubén Rodríguez Camacho. Proyecto de Viabilidad de una planta de biogás. [En línea] https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/5496/TFM_Rub%E9n%20Rodr%EDguez%20Camacho.pdf?sequence=6.
52. Union, European. Interreg Mediterranean. [En línea] <https://green-growth.interreg-med.eu/our-community/why-how/>.
53. —. Interreg POCTEFA. [En línea] <https://www.poctefa.eu/programa/que-es-poctefa/>.
54. España, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Gobierno de. Programa LIFE. [En línea] <https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/servicios/ayudas-subvenciones/programa-life/default.aspx>.

55. Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat. Generalitat de. Resolució TES/2710/2019, de 15 d'octubre. [En línia] <https://cido.diba.cat/legislacio/9334555/resolucio-tes27102019-de-15-doctubre-per-la-qual-samplia-limport-maxim-de-la-dotacio-economica-destinada-a-la-concessio-de-subvencions-per-a-projectes-de-foment-de-leconomia-circular-dacord-amb-la-resolucio-tes1711>.
56. —. Resolució TES/1711/2019. [En línia] <https://cido.diba.cat/legislacio/8989857/resolucio-tes17112019-de-17-de-juny-de-convocatoria-per-a-la-concessio-de-subvencions-per-a-projectes-de-foment-de-leconomia-circular-ref-bdns-463207-departament-de-territori-i-sostenibilitat>.
57. —. Resolució TES/1252/2019. [En línia] <http://cido.diba.cat/legislacio/8830473/resolucio-tes12522019-de-8-de-maig-per-la-qual-saproven-les-bases-reguladores-de-subvencions-per-a-projectes-de-foment-de-leconomia-circular-departament-de-territori-i-sostenibilitat>.
58. OMIE, Operador del Mercado Iberico Español. OMIE DATA. [En línia] <https://www.omie.es/>.
59. España, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Gobierno de. Orden TED/1161/2020, de 4 de diciembre. [En línia] <https://www.boe.es/boe/dias/2020/12/05/pdfs/BOE-A-2020-15689.pdf>.
60. FRAUNHOFFER. Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies. [En línia] https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/EN2018_Fraunhofer-ISE_LCOE_Renewable_Energy_Technologies.pdf.
61. Mariangela Salerno, Francesco Galluci, Luigi Pari, Ilaria Zambon, Daniele Sarri, Andrea Colantoni. Cost - Benefits Analysis of a Small-Scale Biogas Plant and Electric Energy Production. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 23 (No 3) 2017. [En línia] https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/53898408/COSTS-BENEFITS_ANALYSIS_OF_A_SMALL-SCALE_BIOGAS_PLANT_AND_ELECTRIC.pdf?1500447903=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCosts_Benefits_Analysis_Of_A_Small_Scale.pdf&Expires=1616956400&Signature=B.
62. Estado, Jefatura del. Real Decreto-ley 14/2010, de 23 de Diciembre. [En línia] <https://www.boe.es/boe/dias/2010/12/24/pdfs/BOE-A-2010-19757.pdf>.
63. España, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Gobierno de. Orden TED/1161/2020, de 4 de diciembre. [En línia] <https://www.boe.es/boe/dias/2020/12/05/pdfs/BOE-A-2020-15689.pdf>.
64. Catalunya, Agència de Residus de. Càlcul de les Garanties financeres per activitats de Gestió de Residus. [En línia]

http://residus.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/tipus_de_residu/residus_industrial_s/gestors/Calcul_fiances_gestors.pdf.

65. Europeo, Parlamento. DIRECTIVA 2001/42/CE. [En línea] <https://www.boe.es/doue/2001/197/L00030-00037.pdf>.

66. —. DIRECTIVA 2011/92/UE. [En línea] <https://www.boe.es/doue/2012/026/L00001-00021.pdf>.

67. —. DIRECTIVA 2014/52. [En línea] <https://www.boe.es/doue/2014/124/L00001-00018.pdf>.

68. Estado, Jefatura del. Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental. [En línea] <https://www.boe.es/buscar/pdf/2013/BOE-A-2013-12913-consolidado.pdf>.

69. Catalunya, Generalitat de. Decret Legislatiu 1/2010, de 3 d'agost. Portal Jurídic de Catalunya. [En línea] <https://portaljuridic.gencat.cat/ca/document-del-pjur/?documentId=546114&traceability=02&language=ca#>.

70. Estado, Jefatura del. Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. Boletín Oficial de España. [En línea] <https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-13046-consolidado.pdf>.

71. Catalunya, Generalitat de. Llei 20/2009, del 4 de desembre, de prevenció i control ambiental de les activitats. [En línea] http://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/empresa_i_produccio_sostenible/prevencio_i_control_dactivitats/documentos/Llei-20-2009-consolidada-31-01-2014.pdf.

72. Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat. Generalitat de. DECRET 197/2016, de 23 de febrer, sobre la comunicació prèvia en matèria de residus i sobre els registres. [En línea] http://residus.gencat.cat/web/.content/home/consultes_i_tramits/normativa/normativa_catalana_en_materia_de_residus/decret_197_2016.pdf.

73. TERSA. Declaración Ambiental. [En línea] <https://www.teresa.cat/media/1703/declaraci%C3%B3-ambiental-planta-biog%C3%A0s-2017.pdf>.

74. Aplicada, Soluciones de Ingeniería Energética. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL POR INSTALACIÓN DE COGENERACIÓN CON MOTOR DE BIOGÁS DE 330 kWe EN GESTREVIN. [En línea] <http://cindi.gva.es/auto/energia/Gestrevin/GESTREVIN-LEG-EIA-firmado.pdf>.

75. Barcelona, UAB.DIVULGA Universitat Autònoma de. El digestato: de residuo a recurso en un paradigma descentralizado. [En línea] <https://www.uab.cat/web/detalle-noticia/el-digestato-de-residuo-a-recurso-en-un-paradigma-descentralizado-1345680342040.html?noticiaid=1345777050813>.

76. UPC, Jordi Casanovas Iborra. Estudi de viabilitat d'una planta de tractament biogàs per a generar-ne gas natural sintètic apte per la flota d'autobusos de TMB. [En línia] <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/16798>.

77. UPC, Anna Ruiz Tercero. Projecte de disseny d'una planta de biogàs. [En línia] <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/13096>.

78. ZORG. Cataleg. [En línia] <https://zorg-biogas.com/es/catalogo-de-equipos/laboratorio>.

